Aus dem Institut für Arbeitsmedizin der Universität Düsseldorf

Direktor: Professor Dr. med. Dr. phil. Gerd Jansen

Hörschwellenmessungen und Vasokonstriktionsreaktionen bei Lärm mit und ohne Kapselgehörschützer

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Georg Spätling

1983

»Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf«

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf
gez.: Prof. Dr. Brüster

Referent
gez.: Herr Prof. Dr. Dr. Jansen

Korreferent
gez.: Herr Prof. Dr. Peters

Aus dem Institut für Arbeitsmedizin der Universität Düsseldorf

Direktor: Professor Dr. med. Dr. phil. Gerd Jansen

Hörschwellenmessungen und Vasokonstriktionsreaktionen bei Lärm mit und ohne Kapselgehörschützer

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Georg Spätling

1983

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543926_0064

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	Seite	1
2.	Arten von Gehörschutzmitteln	"	4
3.	Zur Frage der Hörschwellenabwanderung durch unterschiedliche Lärmformen	"	5
3.1.	Impulsgeräusche und Gehör	"	8
3.2.	Weißes Rauschen und extraaurale Funktionsgrößen	"	8
4.	Vasokonstriktionsreaktion auf Lärm	"	10
5.	Die Versuchsanordnung	"	12
5.1.	Materialübersicht und Geräte	"	12
5.2.	Versuchsanordnung	"	13
5.3.	Die Versuchsdurchführung	"	15
5.4.	Die Auswertung	"	16
6.	Ergebnisse	"	19
6.1.	Die Hörschwellenverschiebungen nach Breitband- und Impulsgeräuschen	"	19
6.2.	Ergebnisse der Fingerpulsamplitudenmessungen	"	21
7.	Diskussion	"	28
8.	Zusammenfassung	"	38
9.	Tabellen	"	39
10.	Literatur	"	51

1. Einleitung

In der 7. Berufskrankheitenverordnung ist unter Ziff. 2301 die Lärmschwerhörigkeit als eine entschädigungspflichtige Berufskrankheit aufgeführt. Es muß daher das Ziel von Ärzten, Berufsgenossenschaften, Betrieben und Lärmarbeitern sein, durch Lärm hervorgerufene Schwerhörigkeiten zu vermeiden. Dies kann einerseits dadurch geschehen, daß die Schallimmissionen reduziert werden (Lärmbekämpfung an der Quelle oder Kapselung bzw. Verhinderung der Ausbreitung des Schalles) und andererseits durch persönlichen Schallschutz. Hierbei wird verhindert, daß der Schall in der tatsächlichen Schallintensität auf das Gehörorgan auftritt.

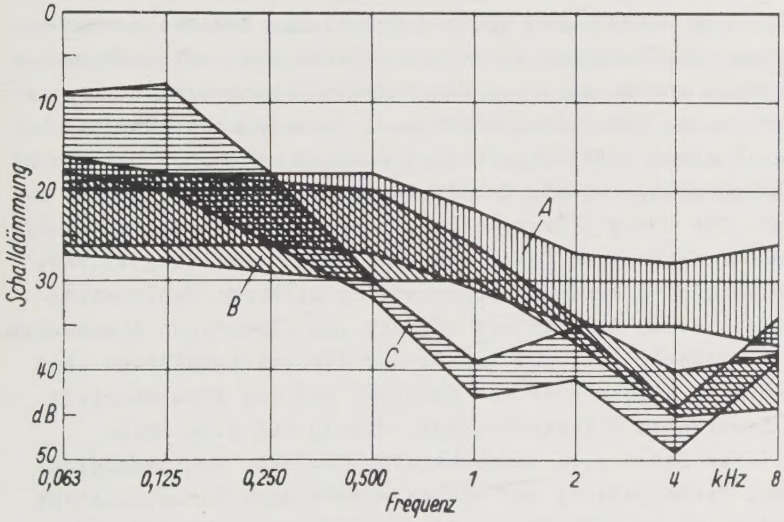
Wenn es auch unbestreitbar ist, daß der persönliche Schallschutz erst dann angewendet werden soll, wenn keine andere Möglichkeit zur direkten Lärmbekämpfung oder indirekten Verhinderung der Schallausbreitung möglich ist, so bleibt unbestritten, daß es immer Arbeitsplätze geben wird, die mit hoher Schallbelastung verbunden sind. Den dort Tätigen ist daher dringend nahezulegen, daß sie persönliche Schallschutzmittel benutzen. In der Unfallverhütungsvorschrift Lärm der Berufsgenossenschaften heißt es, daß in allen Lärmbetrieben, d.h. Werkstätten, in denen Schallpegel von mehr als 90 dB(A) herrschen, Gehörschutzmittel getragen werden müssen. In Betrieben mit Schallpegel von mehr als 85 dB(A) sind von der Betriebsleitung kostenlos Gehörschutzmittel zur Verfügung zu stellen.

Nach Schätzung von in der Lärmbekämpfung tätigen Fachleuten tragen jedoch trotz großer Propaganda auch heute noch kaum mehr als 20 bis 25 % derjenigen Gehörschutzmittel, die eigentlich Gehörschutzmittel tragen müßten. Die Begründung hierfür liegt darin, daß die Betroffenen angeben, daß sie bei Benutzung von Gehörschützern die zu beaufsichtigenden oder zu benutzenden Maschinen oder Geräte nicht mehr richtig hören können. Dieser Einwand ist teilweise berechtigt, denn durch die unterschiedliche Frequenzdämpfung der einzelnen

Gehörschutzmittel nimmt das ursprüngliche Geräusch einen völlig veränderten Charakter an. Allen Gehörschutzmitteln ist gemeinsam, daß die hohen Frquenzen stärker abgedämpft werden als die tiefen Frequenzen. Die Maschinen und Lärmquellen erhalten dadurch einen dumpferen Charakter. Man kann sich jedoch an die neuere Geräusch- und Gangqualität sehr schnell gewöhnen innerhalb von wenigen Tagen oder Wochen. Spätestens nach einem Monat hat man das richtige Gefühl für den richtigen und ungestörten Lauf der Maschine. Als zweites Argument wird sehr häufig angeführt, daß man bei Benutzung von Gehörschutzmitteln sich nicht mehr richtig unterhalten könne. Auch hier kommt der soeben erwähnte Einfluß der veränderten Frequenzcharakteristik zum Tragen, wenn auch nicht so stark wie bei der Veränderung der Maschinengeräusche. Unser normalesFrequenzspektrum der Umgangssprache liegt zwischen 200 und 2000 bis 3000 Hz. Gerade in diesem Bereich ist aber die Dämpfwirkung der Gehörschutzmittel nicht besonders stark, so daß man sich nach einer gewissen Eingewöhnungszeit mit Sicherheit besser unterhalten kann. Allerdings muß man während eines Gespräches mit Gehörschützern in jedem Falle mindestens so laut sprechen, wie ohne Kapselgehörschützer. Ein drittes Argument, welches sehr häufig vorgebracht wird, ist, daß Gehörgangsreizungen bei Verwendung von Stöpsel-Gehörschützern auftreten und daß evtl. durch den Wärmestau zwischen Gehörschutzstöpsel und Trommelfell es zu unangenehmen Sensationen kommt, evtl. auch so zum sog. "Erkältungsgefühl". Die Gefahr der Gehörgangsschädigung durch evtl. Entzündungen sind zwar nicht ausgeschlossen, insbesondere wenn die hygienischen Anforderungen von den Betroffenen nicht beachtet werden. Sie spielen jedoch, wie die Erfahrung zeigt, nur eine ganz untergeordnete Rolle, so daß aus diesen Gründen eine Ablehnung der Gehörschutzmittel nicht abgeleitet werden kann.

Die Gründe für die Ablehnung des Tragens von Gehörschutzmitteln sind somit rein subjektiver Natur. Es hat sich herausgestellt, daß bei einem konsequenten längeren

Tragen von mindestens 2 bis 4 Wochen der subjektive Widerstand gegen das Tragen von Gehörschutzmitteln nicht mehr vorhanden ist. Es kommt somit darauf an, da keine objektiven Gründe für das ablehnende Verhalten vorgebracht werden können, durch pädagogische Maßnahmen die Betroffenen zum Tragen von Gehörschutzmitteln zu veranlassen. Hierzu ist es auch notwendig, daß man diejenigen, die die pädagogischen Maßnahmen durchführen, unterstützt und ihnen medizinisch fundierte Meßwerte für die Wirksamkeit von Gehörschutzmitteln an die Hand gibt.



Schalldämmkurven von Gehörschützern
Typische Bereiche für drei Gruppen von jeweils einer größeren Anzahl von Typen

Bild 1

Es finden sich zwar schon Meßwerte über die physikalische Wirksamkeit von Gehörschützern, die in Abbildung 1 (LÜPKE, 1964) wiedergegeben sind; auch sind schon Mit-

teilungen über die Wirksamkeit von einzelnen Gehörschutzmitteln auf die Hörschwellenabwanderung, bzw. auf die Erholung mitgeteilt worden. Es fehlen jedoch noch systematische Untersuchungen über die Wirksamkeit von Gehörschutzmitteln hinsichtlich der Hörschwellenabwanderung und der extraauralen Reaktionen. Ziel der vorliegenden Arbeit ist somit, bei bestimmten Geräuschformen und Zeitstrukturen der Geräusche die Hörschwellenabwanderung sowie die Vasokonstriktionsreaktion als Ausdruck einer vegetativen Änderung experimentell zu belegen.

2. Arten von Gehörschutzmitteln

Im Handel sind heute 3 Grundtypen für den persönlichen Schallschutz: 1) Gehörschutzstöpsel, meist Wachsmaterial zur Ausstopfung des äußeren Gehörganges oder verformbare Kunststoffstöpsel, 2) Kapselgehörschützer, die in ihrem Aufbau Kopfhörern ähnlich sehen, 3) Gehörschutzkappen, die als Schallschutzhelme besser bekannt sind. Für diese 3 Gruppen liegen Durchschnittswerte der frequenzabhängigen Schalldämpfung (vgl. Abbildung 1) vor, und es gibt hiermit unterschiedlich wirkende Gehörschutzmittel, deren Einsatz und Eignung vom jeweiligen Anwendungsfall abhängig ist. Die Angabe der Frequenzkennkurven sagt natürlich nichts über die Qualität und die Brauchbarkeit in bestimmten Situationen aus. Hierzu muß eine Reihe weiterer Daten z.B. Andrückkraft, Gewicht, Spaltenabdichtung, Hautanpassung und vieles andere mehr berücksichtigt werden. In der VDI-Richtlinie 2560 Persönlicher Schallschutz sind auch die Anforderungen an Gehörschutzmittel, die von den Herstellern verlangt werden, normativ festgesetzt und auch Hinweise für die Anwendung beigegeben. In der Literatur (von LÜPKE, 1964) sind auch Mitteilungen über Trageversuche durchgeführt worden, die dazu dienten, die subjektiven Vorurteile gegen das Tragen von Lärmschutz-, bzw. Gehörschutzmitteln abzubauen.

3. Zur Frage der Hörschwellenabwanderung durch unterschiedliche Lärmformen

Wie eingangs erwähnt, werden alle Betriebe, die äquivalente Dauerschallpegel von 90 dB(A) oder mehr aufweisen, als Lärmbetriebe betrachtet. Die dort Arbeitenden werden einer kontinuierlichen Überwachungsuntersuchung in bestimmten Abständen zugeführt. Wie aus Zusammenstellungen von ROBINSON (1968) (vgl. Abbildung 2) erkenntlich ist, sind jedoch auch schon Schallpegel unterhalb von 90 dB(A) als gehörgefährdend anzusehen. Das Zeichen einer beginnenden Lärmschwerhörigkeit bei 90 dB(A) tritt in 5 % der Fälle nach einer Einwirkungsdauer von täglich 8 Stunden über 10 Jahre auf. Wir haben den gleichen Prozentsatz bei täglich 8-stündiger 85-dB(A)-Einwirkung und 30-jähriger Tätigkeit in diesem Lärm, so daß der in der VDI-Richtlinie 2058 Blatt 2 genannte Wert von 75 dB(A) äquivalentem Dauerschallpegel erst als ein Wert bezeichnet werden kann, bei dem keine Gefahr einer möglichen Lärmschwerhörigkeit mehr vorliegt.

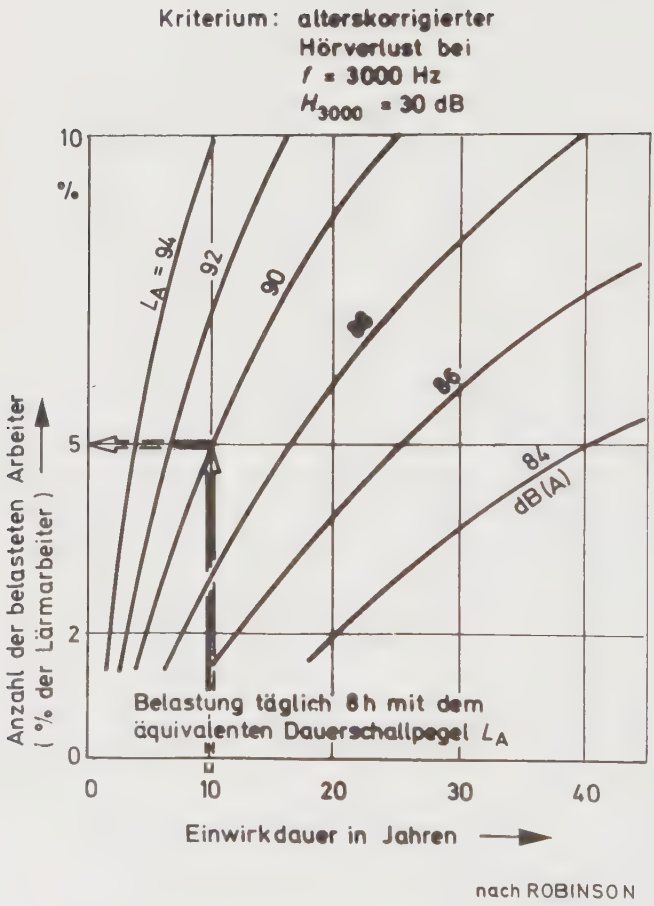


Bild 2

Es ist schon seit langem bekannt, daß das Zeichen einer beginnenden Lärmschwerhörigkeit im Bereich zwischen 2000 und 6000 Hz liegt und vornehmlich bei 3000 oder 4000 Hz erstmalig Ausfälle auftreten. Der isolierte Hochtonausfall wird bei länger dauernder Beschallung allmählich größer und breitet sich in die benachbarten höheren und

niederen Frequenzgebiete aus und erreicht dann auch die höheren Anteile des Sprachfrequenzgebietes, wobei selbst bei weit fortgeschrittener Lärmschwerhörigkeit die Mitbeteiligung der Hörminderung im Bereich unterhalb 1000 Hz gering ist bzw. einer normalen Altersschwerhörigkeit entspricht. Diese Tatsache hat dazu geführt, daß in den VDI-Richtlinien 2058 Blatt 2 Gehörschädigung und in den Berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen für arbeitsmedizinische Vorsorge Untersuchungen hinsichtlich Gehörüberwachung/Gehörschädigung für die Siebteste zur Schnelldiagnose: Beginn der Lärmschwerhörigkeiten nur die Frequenzen 1000, 2000, 3000, 4000 und 6000 Hz herangezogen werden. LEHNHARDT und BÜCKING (1968) konnten z.B. nachweisen, daß Gehörerholungen bei gleichem Schallpegel dadurch zu erreichen waren, daß statt eines hochfrequenten Geräusches ein gleichlautes niederfrequentes Geräusch mit dem Maximum weit unter 1000 Hz möglich ist. Es kann hier nicht der Ort sein, auf die Probleme der Lärmschwerhörigkeit und evtl. noch ungelöste Fragen einzugehen. Auch soll hier nicht über die Entstehungsmechanismen und physiologischen und pathologischen Vorgänge bei der Lärmschwerhörigkeit berichtet werden. Vielmehr soll nur festgehalten werden, daß die Dezibel-A-Bewertung, wie sie in den Richtlinien immer wieder vorgeschrieben wird (vgl. auch DIN 55 631, DIN 13 18 und viele andere), daß diese national und international empfohlene Meßgröße als grobe Frequenzbewertung annähernd mit der Fähigkeit bzw. Unfähigkeit des Ohres, schädigende Schallintensitäten zu verarbeiten, eine zwar komplexe, aber doch ausreichende Beurteilung an die Hand gibt, sofern die Schallimmission zur Beurteilung ansteht.

Grundlegende Untersuchungen zum Problem der Hörschwellenabwanderung durch Lärm und der Erholung wurden durch WARD, GLORIG und SKLAR (1959) ermittelt. Die sog. Hörschwellenabwanderung (= zeitweilige Hörschwellenverschiebung = TTS = Temporary Threshold Shift) wächst mit dem Logarithmus der Lärmzeit, sofern die Intensität gleich

bleibt. Die Erholung des Gehörs wurde durch WARD, GLORIG und SKLAR mit einer Rechenformel beschrieben. Dabei stellte sich heraus, daß sie linear mit dem Logarithmus der Zeit geht, sofern die TTS - gemessen 2 Minuten nach Lärmexposition - weniger als 50 dB betragen hat. 50 dB(A) Schwellenabwanderung gelten folglich als obere Sicherheitsgrenze, deren Überschreitung sich in einer wesentlich langsameren Hörerholung bemerkbar macht. Unter Berücksichtigung dieser Bedingung soll eine Hörerholung nach 2 Stunden währendem Lärm in etwa 16 Stunden vollständig sein. Die Autoren faßten ihre Rechenformel so ab, daß eine Rückermittlung der unmittelbar postexpositionellen TTS möglich wird, wenn die Zeit, die seit dem Lärm verstrichen ist, und die dann gemessene TTS bekannt sind.

3.1. Impulsgeräusche und Gehör

Impulse werden dadurch charakterisiert, daß ein bestimmtes Verhältnis von Geräusch- und Pausendauer vorliegt. Verschieden schnelle Impulse, deren Tastabstand kurz ist, hinterlassen am Ohr gleich hohe Hörschwellenänderungen (WARD, 1962), wenn die Pausendauer nur einige, aber höchstens 9 Sekunden beträgt. Mithin dürfte die TTS für derartige Impulsgeräusche gleich hoch wie für Breitbandrauschen sein.

Die Ausbildung des akustischen Reflexes mit Versteifung der Mittelohrknochenkette und resultierendem höheren Widerstand der Schallübertragung dürfte bei extrem kurzen Pausendauern von etwa 10 Millisekunden nicht in Frage kommen. Auch eine Schwellenrückbildung wird in so kurzer Frist unmöglich sein. Die Gleichbewertung von solchem Impulslärm und weißem Rauschen hinsichtlich der Beeinträchtigung des Hörens darf nicht dazu verleiten, eine Ähnlichkeit beider Geräuscharten bezüglich der vegetativen Reaktion vorauszusetzen.

3.2. Weißes Rauschen und extraaurale Funktionsgrößen

Die Fingerpulsamplitude stellt einen der empfind-

lichsten Parameter der vegetativen Reaktion dar und ist mit Hilfe des Thumpi-Meßfühlers aussagekräftig geworden. Eingeführt wurde diese Modifikation der Amplitudenmessung von JANSEN und THUTEWOHL (1968).

LEHMANN (1957) hat durch sein 4-Stufen-Schema eine Differenzierung der Lärmwirkungen vorgenommen. Die Stufe I umfaßt die Skala von 30 bis 65 Phon, innerhalb der nur psychische Reaktionen auftreten. Von 65 bis 90 Phon zeigen sich regelmäßig vegetative Reaktionen (Stufe II). In der Stufe III (90 bis 120 Phon) manifestiert sich eine Höreinbuße, welche bei chronischem Lärm durch Haarzelldegeneration und Ganglienzelluntergang bewirkt wird. Ab der IV. Stufe (mehr als 120 Phon) treten die physikalisch-mechanischen Lärmwirkungen in den Vordergrund, die mit Weichteilschäden des Innenohres ihren Anfang nehmen.

Die Lärmforschung stößt immer wieder darauf, daß Lärm eine Ergotropisierung des Organismus bewirkt. LAWRENCE, GONZALES u. HAWKINS (1967) führen die Hörschwellenverschiebung eindeutig auf eine Minderung der Innenohrdurchblutung zurück. Somit sind alle lärmabhängigen Erscheinungen auf ein übergeordnetes Prinzip zurückzuführen, wodurch die Definition einer Lärmkrankheit eigentlich erleichtert sein sollte. Es liegt jedoch in der Natur aller vegetativen Äußerungen begründet, daß sich zwar für eine statistisch relevante Personenanzahl sichere Aussagen machen lassen, sich aber im Einzelfall die Ergebnisse einer stichhaltigen Beurteilung entziehen.

MATTHIAS u. JANSEN (1962) stellten bei Untersuchungen an Kindern vom Säuglingsalter bis zum Alter von 11 Jahren prinzipiell das gleiche Verhalten wie bei Erwachsenen fest; nur daß die Ergebnisse eine etwas geringere Signifikanz aufwiesen. Auch wiesen einige Kinder paradoxe Reaktionen auf, wie sie gelegentlich bei Erwachsenen beobachtet wurden und erst recht unter Impulslärm vorkommen. Hierfür wird als Erklärung allgemein das WILDERsche Ausgangswertgesetz (1931) herangezogen.

4. Die Vasokonstriktionsreaktion durch Lärm

Es darf als ein gesichertes Ergebnis der medizinischen Lärmforschung angesehen werden, daß durch Lärm insbesondere in der Peripherie nachweisbare aktivierende und ergotropisierende Reaktionen ausgelöst werden, die mit der Pulsamplitudenmessung nach JANSEN und THUTEWOHL (1968) besonders leicht zu erfassen sind, wobei an dieser Stelle auf die bedingte und begrenzte Aussagekraft einer solchen Reaktion hingewiesen werden muß (vgl. auch LIES und SCHOLZ (1975)). Andererseits hat sich herausgestellt, daß diese Reaktion immer wieder auslösbar ist und anscheinend keiner Gewöhnung unterworfen ist, so daß sie als Kenngröße und Indikator einer Lärmwirkung durchaus verwendbar ist. Dies ist auch durch die Untersuchungen der Deutschen Forschungsgemeinschaft zum Problem der Fluglärmwirkungen eindeutig herausgestellt worden. Im Rahmen einer Pfadanalyse wurde festgestellt, daß in dem Gefüge des Bedingungszusammenhanges zwischen den einzelnen Größen der psychologischen, soziologischen, physiologischen und medizinischen Größen mit konstitutionellen Faktoren und der Lärmfaktoren, die sog. Defensivreaktion, deren wesentlicher Parameter die Pulsamplitudenreaktion auf Lärm ist, eine weitgehend unabhängige nicht korrelierte Stellung zu allen anderen Einflußgrößen einnimmt. Dies spricht dafür, daß es hier eine Reaktion gibt, die weitgehend unabhängig ist von der subjektiven Bewertung und anderen psychosozialen Einflüssen. Der korrelative Zusammenhang der Größe dieser vegetativen Reaktion mit den Intensitäts- und Bandbreitencharakteristiken von Geräuschen wurde mehrfach nachgewiesen (JANSEN, 1967) und es zeigte sich, daß die vegetative Reaktion ebenfalls bei Impulsgeräuschen wenn auch in anderer Art und Weise nachzuweisen war.

Impulslärm wirkt subjektiv wesentlich unangenehmer auf den Menschen als weißes Rauschen. Es wird in der vorliegenden Untersuchung zu zeigen sein, ob Impulslärm andere vegetative Reaktionen hervorbringt als Breitbandrauschen. KNÖPKE-SCHÖTTL (1968) hat 90 und 105 dB(A)

starke Impulse mit Tastabständen von 50/50, 100/100, 100/6000 und 50/6000 msec auf deren vegetative Wirkung hin untersucht. Sie erhielt verschieden starke Reduktionen der Fingerpulsamplitude, die naturgemäß beim Tastabstand von 50/6000 msec am geringsten ausfielen. Außerdem registrierte sie einen Abfall des diastolischen Blutdrucks.

JANSEN (1972) hob als kennzeichnenden Unterschied zwischen beiden Lärmarten die leichte Anhebung des diastolischen Blutdrucks bei weißem Rauschen und Absinken des RR (diast.) bei Impulsgeräuschen hervor. Seine Hypothese ist: Die Lautstärke eines Impulsgeräusches hat vorrangigen Einfluß auf die Fingerpulsamplitude, während die Pausendauer vornehmliche Wirkung auf das Verhalten des diastolischen Blutdrucks ausübt. Besonders schädlich seien die sehr kurzen Impulsdauern (im einstelligen Millisekundenbereich) und die sehr kleinen Pausen von 1 msec.

5. Die Versuchsanordnung

5.1. Materialübersicht und Geräte

Die Versuchspersonen wurden in einer schallarmen Kammer dem Lärm ausgesetzt. Die Aufzählung der Geräte läßt sich in kammerinterne und kammerexterne aufteilen.

A. Kammerinterne Geräte:

1. Liegestuhl
2. Thumpi-Meßfühler (zur Registrierung der Fingerpulsamplitude)
3. Photoelektrischer Abnehmer (zur Messung der Pulsfrequenz)
4. Atemfrequenzabnehmer (ähnlich gebaut wie der Thumpi-Meßfühler)
5. 2 Mikrophone (Mikrophonkapsel 3141, Brüel-Kjaer) am Kopfende des Liegestuhls zu beiden Seiten angebracht
6. 4 Lautsprecher (je 25 Watt) in 3 m Entfernung
7. Audiometer (Audiotest G)
8. Kapselgehörschützer (Modell Willson SB 258)

B. Kammerexterne Geräte:

9. Jeweils ein Filter und ein Kondensator Atemfrequenzabnehmer und Thumpi-Meßfühler mit jeweils einer Meßbrücke DR 1, Dehnungsanzeiger
10. Hellige-Kreislaufüberwachungsgerät
11. Rauschgenerator für Breitbandgeräusch Typ Brüel-Kjaer 1024
12. Impulsgenerator: Akustik-Stimulator Elsaß 1. Es wird ein Tastverhältnis von 40/10 msec erzeugt, d.h. 40 msec Lärm / 10 msec. Pause.
13. Verstärker für den Vorlärm (90 dB(A)): ST 2000 Radio Riem
14. Verstärker für das Breitbandrauschen und den Impulslärm: Musikant Radio Riem, 100 W-Verstärker mit ultralinearem Frequenzgang
15. Meßgeräte: 2112 Schallpegelmesser
    2305 Schallpegelmesser von Brüel-Kjaer zur Kontrolle des während des Versuchs herrschenden Schalldrucks in der Kabine.

Alle Versuche fanden in einer schallarmen Kammer der Firma Grünzweig und Hartmann statt, deren Grundpegel ca. 30 dB(A) beträgt. Dieses Geräusch dürfte durch den von einem Ventilator erzeugten Luftzug bedingt sein. Es ist bei den Versuchsreihen ohne und mit Gehörschutz in seiner Wirkung auf Fingerpulsamplitude und Hörschwellenverschiebung irrelevant, weil es einesteils von dem 105-dB(A)-Lärm überdeckt, andernteils vom Gehörschützer vollständig abgewiesen wird, da der Willson-SB-258-Gehörschützer bei 1000 bis 8000 Hz eine Schalldämmung um 35 - 40 dB(A) aufweist (v.LÜPKE, 1971).

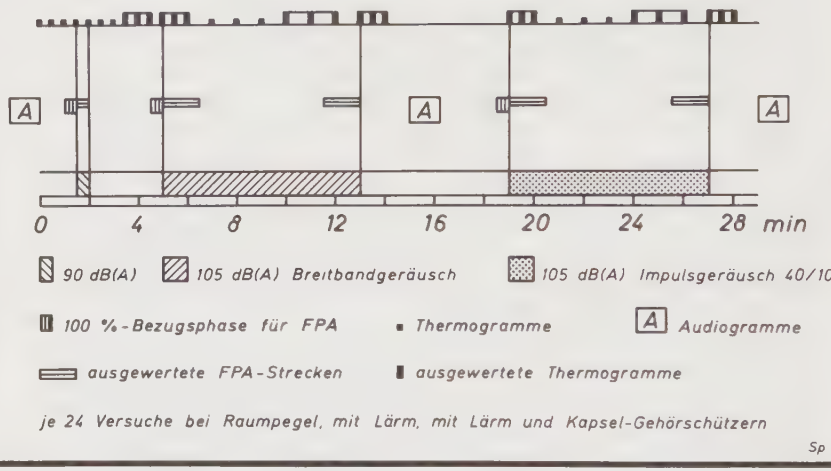
Die Kammer hat die Maße 2,10 x 3,00 x 3,10 m^3 (HxBxT) und ist mit porösem Material isoliert. Zwei Fenster gestatten dem Versuchsleiter die unmerkliche Beobachtung der Probanden, was sich hinsichtlich Ruhighaltung der Hände für die Abnahme der Fingerpulsamplitude als nützlich erwies. Unmerklich mußte die Beobachtung erfolgen, um mögliche psychovegetative Auswirkungen auszuschalten. Entsprechend wurden Versuchspersonen und Lehnstuhl plaziert. In der Kammer befanden sich außerdem 4 Lautsprecher und 2 am Lehnstuhl befestigte Mikrophone.

In allen Versuchen wurden als untergeordnete Meßgrößen die Puls- und Atemfrequenz und als zwei Hauptmeßgrößen die Fingerpulsamplituden (FPA) und die vorübergehenden Hörschwellenänderungen (TTS) registriert. Zur Erfassung der vegetativen Reaktion benutzten wir die Messung der Fingerpulsamplitude nach der von JANSEN u. THUTEWOHL (1968) angegebenen Methode. Es handelt sich hierbei um den THUMPI-Fingerpulsdetektor bestehend aus einer dünnen Stahllasche, die auf beiden Seiten mit Dehnungsmeßstreifen beschichtet ist. Eine Trägerfrequenzbrücke versorgt den Dehnungsmeßstreifen mit 15 Volt Spannung. Durch die pulsbedingten Auslenkungen des Stahlbandes, das dem volaren Teil des Zeigefingerendgliedes aufliegt, ändert sich der Widerstand des Stroms. Die Widerstandsänderungen werden sodann auf das Hellige-Kreislaufüberwachungsgerät übergeleitet. Die Versuchsperson trägt den Meßfühler, der mit einem U-förmigen Ausschnitt am Fingerendglied locker ruht und mit einem Klebestreifen dort fixiert ist. Somit ist ein dauerhafter Kontakt des Fingers mit der Stahlzunge hergestellt.

Die Hörschwellen wurden mit dem "Atlas-Audiotest-G"-Audiometer bestimmt. Das Gerät hat Testlautstärken von 20 - 100 dB(A) und gestattet die Ermittlung der Hörschwellen in 5-dB(A)-Schritten. Den Versuchspersonen wird ein langsam anschwellender, kontinuierlich klingender Sinuston angeboten. Hierbei tragen sie einen Kopfhörer mit flüssigkeitsabgedichteten Hörmuscheln. Die Hörschwellen werden für die Testfrequenzen 1, 2, 3, 4, 6 und 8 kHz gemessen und auf den zugehörigen Diagrammkarten eingetragen.

5.2. Versuchsanordnung

Es sollten die Parameter Fingerpulsamplitude und zeitweilige Hörschwellenverschiebung nach Verabreichung von 1.) Breitbandrauschen und 2.) Impulslärm gemessen werden. Als Impulslärm kam ein im Tastverhältnis 40/10 msec zerhacktes Breitbandgeräusch zur Anwendung.



Versuchsablauf

Bild 3

Das Bild 3 zeigt schematisch die Versuchsanordnung. Die Versuchsdauer beträgt 29 Minuten. Auf der Zeitachse sind die drei Geräusche eingetragen: zunächst - nach 90 sec Ruhe - ein halbminütiger Vorlärm von 90 dB(A) (Breitbandrauschen) bis zur 2. Minute. Nun 3 Minuten Ruhe. Sodann 8 Minuten weißes Rauschen von 105 dB(A) Stärke. Unterbrechung durch 6 Minuten Ruhe und jetzt ein wiederum 8 Minuten dauerndes Impulsgeräusch von 105 dB(A) mit einem Tastverhältnis von 40/10 Millisekunden. Anschließend 2 Minuten Ruhe bis zum Versuchsende. Das 90 dB(A) starke Breitbandrauschen wurde in die Versuchsanordnung mit aufgenommen, weil es in früheren Untersuchungen des öfteren verwendet

wurde und es somit leichter fällt, Vergleiche zwischen 105-dB(A)- und 90-dB(A)-Geräuschen anzustellen.

Vor jedem Versuch befand sich jeder Proband mindestens 10 Minuten lang in relativer Ruhe. Währenddessen wurden Vorbereitungen getroffen, die Meßgeräte angelegt und das erste Audiogramm angefertigt. Hiernach begann erst der Versuch. An die beiden 8-minütigen Lärme schloß sich jeweils im Abstand von 2 Minuten ein weiteres Audiogramm an. Nach einer Empfehlung von WARD, GLORIG und SKLAR (1959) soll die TTS zwei Minuten nach dem Lärm aufgenommen werden. Die Schreibung der Fingerpulsamplituden erfolgte von Minute 0 bis 29 fortlaufend.

5.3. Die Versuchsdurchführung

Als Testpersonen wurden vorwiegend versuchsgewohnte Medizinstudenten und Institutspersonal gewonnen. Es wurden grundsätzlich nur Personen angenommen, deren tatsächlicher Hörverlust in den Testfrequenzen 1, 2, 3, 4, 6 und 8 kHz nicht mehr als 20 dB(A) betrug, gemäß einer Forderung TANNERs (1955), der das normale Audiogramm dahingehend definiert, daß im Frequenzbereich 250 - 8000 Hz der Hörverlust nicht mehr als 20 dB(A) betragen darf. Das Durchschnittsalter der Personen betrug 26 Jahre. Die jüngste war 17 Jahre alt, die älteste 36. Insgesamt nahmen 24 Probanden an den Versuchen teil, 16 männliche und 8 weibliche.

Die Versuchspersonen wurden vor Beginn der Versuche darauf aufmerksam gemacht, eine Stunde vorher Kaffee und Nikotingenuß zu meiden.

Die Versuchsperson setzte sich in einen Liegesessel, der 3 m von der Schallquelle entfernt aufgestellt war. Beiderseits neben dem Kopf waren Mikrophone angebracht, die den Schalldruck registrierten. Der Proband lag völlig entspannt, damit keinerlei äußere Einwirkungen wie Muskeltonus, Änderung in der Aufmerksamkeit u.ä. die vegetative Ausgangslage beeinflußten. Sodann wurden Abnahmeinstrumente zur Registrierung der Fingerpulsamplitude angelegt.

Als Schallquelle dienten 4 Lautsprecher, die aus einem Generator für weißes Rauschen, welches das gesamte Spektrum der hörbaren Schwingungen umfaßt, gespeist wurden. Das Impulsgeräusch wurde aus einem Gerät gewonnen, das das Breitbandgeräusch in alternierender Folge von 40 Millisekunden Lärm und 10 Millisekunden Ruhe zerhackte. Der Rauschgenerator lieferte ein Geräusch von 105 dB(A). Über die Mikrophone, die neben der Versuchsperson standen, wurde der Pegel kontrolliert.

Der Versuchsleiter sorgte für Ein- und Ausschalten des Vorlärms (90 dB(A)) zwischen Minute 1,5 und 2. Ebenso verfuhr er mit dem Breitbandgeräusch zwischen Minute 5 und 13 sowie mit dem Impulsgeräusch zwischen 13. und 27. Minute. 2 Minuten nach dem Breitbandlärm schrieb er das 2. Audiogramm (TTS_{BB}), was etwa 1 Minute lang in Anspruch nahm. Das gleiche geschah 2 Minuten nach dem Impulsgeräusch (TTS_{IG}). Zu erwähnen bleibt, daß die Lärmarten nicht abrupt einsetzend gegeben wurden, sondern - um einen Schreckeffekt auszuschließen - einschleichend (3 bis 5 sec) appliziert wurden.

Die 24 Probanden mußten 3 Versuchsserien absolvieren. Der Versuchsverlauf, wie er oben angegeben ist, spiegelt die erste Serie wider, die als Serie a bezeichnet wird. Die zweite Modifikation besteht in der Anwendung von Gehörschützern des Typs Willson SB 258 unter sonst gleichen Bedingungen und wird als Serie b bezeichnet. Die Serie c stellt einen Ruheversuch dar, d.h. alle Messungen wurden wie in den Versuchsreihen a und b vorgenommen mit dem Unterschied, daß keines der drei Geräusche eingeschaltet wurde.

5.4. Die Auswertung

Die Aufzeichnung der Hörschwellen erfolgte auf den dem Audiotest G zugehörigen Audiogrammkarten. Die Ablesung der Werte geschah in 5-dB(A)-Stufen. Die Hörschwellen beider Ohren wurden gemittelt. Durch Differenzbildung des 2. und 3. Audiogramms mit dem 1. Audiogramm ergaben sich

erste und zweite Hörschwellenverschiebung (TTS_{BB} und TTS_{IG}). Rechnerisch ließen sich dann das arithmetische Mittel (AM) und die Standardabweichung (s) aus allen 24 Personen und von jeder Hörfrequenz ermitteln.

Die Auswertung der Fingerpulsamplituden war aufwendiger. In der Probelaufzeit vor Versuchsbeginn regelte der Versuchsleiter die Amplitude auf 3 bis 4 cm Schreibbreite ein, damit die Toleranz für Verengung und Verbreiterung der Amplitude gleich bleiben konnte.

Die Ausmessung der Amplituden wurde mit Hilfe eines Meßstablineals 1:2 ausgeführt. Zunächst wurde eine halbe Minute vor jedem Lärm eine Bezugsphase gewonnen, indem 5 Amplituden im Abstand von 6 Sekunden herausgegriffen und gemessen wurden. Diese Ergebnisse wurden gemittelt und gleich 100 Prozent gesetzt.

Gemäß Abbildung 3 wurde der Vorlärm (90 dB(A)) ganz ausgewertet und von den 105-dB(A)-Geräuschen jeweils $1^1/_2$ Minuten nach Lärmanfang und Lärmende. Die Auswertung geschah folgendermaßen: Beim Vorlärm wurden im Abstand von 6 Sekunden die 3 ersten Werte notiert. Bei den beiden Hauptlärmen wurden die $1^1/_2$ Minuten nach Lärmanfang und vor Lärmende in 3 x $^1/_2$ Minute unterteilt. Dann wurden von jeder dieser Halbminuten die drei ersten Werte im Abstand von 6 Sekunden gemessen. Nach Lärmanfang begann die Auswertung erst mit der 3. Sekunde, weil nach JANSEN u. THUTEWOHL (1968) die vegetative Reaktion mit einer Verzögerung von ca. 3 Sekunden auftritt.

Durch die Auswertung der ersten $1^1/_2$ Lärmminuten wäre die Lärmwirkung nach den Angaben von JANSEN u. THUTEWOHL (1968) hinreichend beschrieben. Den Autoren zu Folge kann der Amplitudenwert 18 Sekunden nach Lärmbeginn als "repräsentativ für die perstimulatorische Schallwirkung" gelten.

Die meisten Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung werden sich auf oben genanntes Auswertungsverfahren stützen. Ein anderer Auswertungsmodus wurde angewandt, um eine Ver-

laufsbeurteilung der Versuchsreihen zu ermöglichen. Dabei wurde statt 3 Bezugsphasen nur eine einzige hergestellt, die $^1/_2$ Minute vor dem Vorlärm (90 dB(A)) plaziert ist. Ausgewertet wurden für die erste halbe Minute nach Lärmbeginn - wie oben angegeben - 3 Amplituden. Für die übrigen $1^1/_2$ Minuten nach Lärmanfang und vor Lärmende kam nur eine Amplitude pro halbe Minute zur Auswertung.

Für alle Versuchspersonen liegen die zur Auswertung gelangten Amplituden in phasengleichen Zeiten. Auf diese Weise konnte für jeden ausgemessenen Zeitabschnitt das arithmetische Mittel aus den Fingerpulsamplituden aller Probanden errechnet und nach Umrechnung der %-Werte eine Verlaufskurve angefertigt werden. Ebenso wurden die Mittelwerte einzelner Versuchspersonen über die Gesamtzeit der Versuche berechnet.

6. Ergebnisse

6.1. Die Hörschwellenverschiebungen nach Breitband- und Impulsgeräuschen

Die Ruhehörschwellen mit Durchschnittswerten von 24 Versuchspersonen sind in der Tab. 1 wiedergegeben. Eine Aufteilung der Hörschwellen in Werte fürs linke und rechte Ohr wurde unterlassen, denn die Audiogramme, die nach der Schallexposition fertiggestellt wurden, unterliegen keiner genauen Reihenfolge (z.B. zunächst immer die Audiometrierung des rechten, dann erst des linken Ohres).

Tabelle 1 Mittlere Ruhehörschwellen der 24 Versuchspersonen für die einzelnen Prüffrequenzen.

Prüffrequenz in Hz	1000	2000	3000	4000	6000	8000
Schwellenintensität in dB(A)	5,1	5,6	7,3	9,3	20,9	7,5

Der relativ hohe Wert der Prüffrequenz 6000 Hz ist zurückzuführen auf einen Eichfehler des Audiometers. Da die Funktion des Gerätes nicht beeinträchtigt war, schlägt sich dieser Fehler nicht in der TTS (der Differenz der vor und nach einer Schallexposition gemessenen Hörschwelle) nieder.

Die folgende Tabelle zeigt die aus allen Personen und Frequenzen gemittelten Hörschwellen.

Tabelle 2 Durchschnittliche Hörschwellen aller Versuchspersonen in dB(A).

	Vor Versuch	Nach BB	Nach IG
a (ohne Gehörsch.)	10,8	22,2	23,6
b (mit Gehörsch.)	9,4	9,6	9,9
c (Ruheversuch)	8,0	8,6	8,8

Die Ruhehörschwellen verbessern sich von Versuchsreihe zu Versuchsreihe jeweils um 1,4 dB(A).

Tabelle 3 Durchschnittliche TTS aller Versuchspersonen in dB(A) (in Klammern die Signifikanzen).

	(p)	$TTS_{(BB)}$	(p)	$TTS_{(IG)}$	(p)
Ohne Gehörsch.	11,29	11,8	-1,01	13,2	11,18
Mit Gehörsch.	11,17	0,2	-0,34	0,5	11,14
Ruheversuch	-0,60	"0,6"	-0,50	"0,8"	-0,64

Auffällig ist in Tab. 3 die äußerst niedrige Hörschwellenverschiebung bei den Versuchen, bei denen die Probanden Gehörschützer trugen. Sie stimmt mit den angegebenen Dämmwerten für den Willson-Gehörschutz (v.LÜPKE, 1971) überein. Die Ergebnisse der Tab. 3 sind anschaulich in Bild 5 (S. 23) dargestellt. Gegenüber dieser Tabelle macht die Anhangstabelle 9 die erhöhte Vulnerabilität des Gehörs für die Testfrequenzen 4000 und 6000 Hz deutlich.

Mit dem p-Test wurde berechnet, ob für 4000 und 6000 Hz die Schwellenabwanderung bei Impulsgeräusch gegenüber der bei Breitbandrauschen eine signifikante Größe darstellt. Hierüber gibt Tab. 4 Aufschluß.

Eine genauere Untersuchung und Vergleich der $TTS_{(BB)}$ (nach Breitbandrauschen) und $TTS_{(IG)}$ (nach Impulsgeräusch) in der Versuchsserie ohne Gehörschutz zeigt zwar, daß die $TTS_{(BB)}$ gegenüber dem Ruheaudiogramm in allen Fällen positiv ausfällt, die $TTS_{(IG)}$ gegenüber der $TTS_{(BB)}$ jedoch bei 6 Personen für 4000 Hz und bei 4 Personen für 6000 Hz negative Werte zeigt. In diesen Ergebnissen kommt die Tatsache zum Ausdruck, daß die 8 Minuten Impulslärm nach dem voraufgegangenen Breitbandrauschen nicht bei allen Personen eine weitere Vertäubung bewirken konnte. Dementsprechend finden sich in den Tabellen 3 und 4 so gut wie keine signifikanten Unterschiede (p-Test) zwischen den beiden gemessenen zeitweiligen Hörschwellenverschiebungen mit Ausnahme des

Wertes in Tab. 4, der für die Reihe ohne Gehörschutz eingetragen ist.

Tabelle 4 — Signifikanzen zwischen $TTS_{(BB)}$ und $TTS_{(IG)}$ bei 4000 und 6000 Hz. p = im t-Test ermittelte Irrtumswahrscheinlichkeit.

	p	$TTS_{(BB)}$	p	$TTS_{(IG)}$	p
Ohne Gehörsch.	10,73	18,5	-1,98	22,5	12,29
Mit Gehörsch.	10,53	0,2	-0,46	0,8	13,87
Ruheversuch	-0,40	"0,7"	1,04	"-0,5"	1,07

Es zeigte sich bei den Audiogrammen von Versuchsreihe zu Versuchsreihe ein Übungseffekt, d.h. die Testtöne wurden besser gehört. Beim Ansehen der 3 Audiogramme der Ruheversuchsserie ergibt sich eine leichte Verschlechterung der Hörfähigkeit gegen Ende des Versuchs.

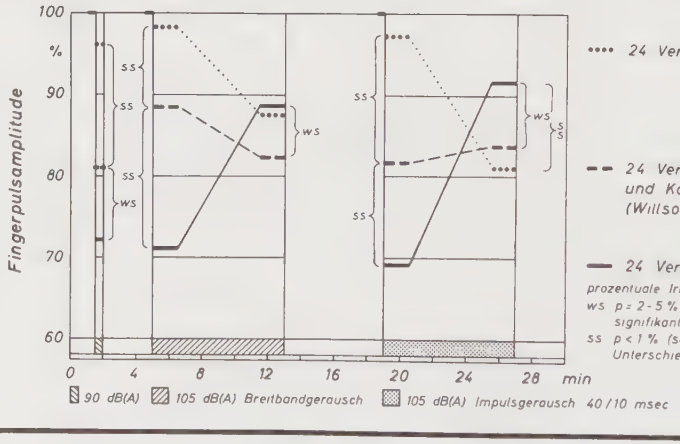
6.2. Ergebnisse der Fingerpulsamplitudenmessungen

Von den beiden 8-minütigen Geräuschen mit 105 dB(A) kamen die ersten und die letzten $1^1/_2$ Minuten der Fingerpulsamplitudenregistrierung zur Auswertung. Die nachstehende Tab. 5 zeigt die durchschnittliche, prozentuale Amplitudenänderung des peripheren Fingerpulses in diesen Zeiten sowie in der ersten halben Minute nach Lärmanfang.

Tabelle 5 — Mittlere Amplitudenverminderung in den ersten und letzten 1,5 Minuten jeder Lärmphase.

	Ohne Gehörsch.		Mit Gehörsch.		Ruheversuch	
	BB	IG	BB	IG	"BB"	"IG"
0,5 Min. nach LA	-29,1	-32,4	-22,4	-23,9	+3,4	-1,2
Differenz =	+ 1,2	+ 1,5	+11,0	+ 5,6	-5,1	-1,5
1,5 Min. nach LA	-28,9	-30,9	-11,4	-18,3	-1,7	-2,7
1,5 Min. vor LE	-11,3	- 8,2	-17,6	-16,2	-12,4	-18,9

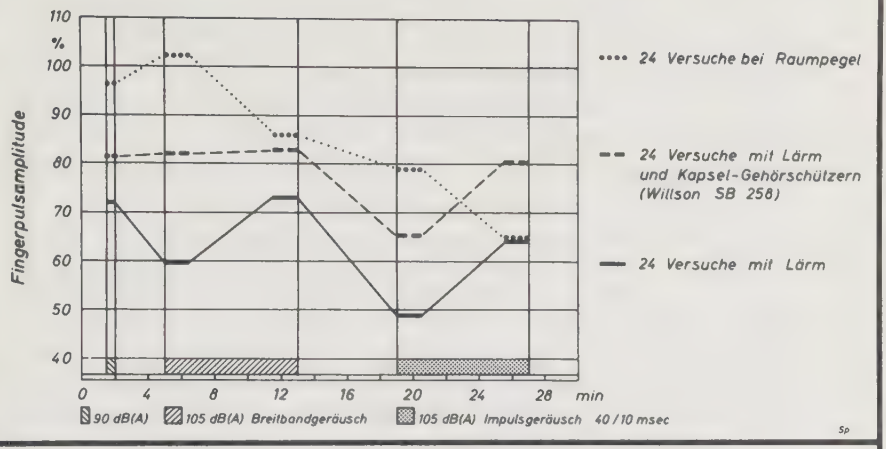
Die folgende Zeichnung zeigt die Amplitudenverringerung der Fingerpulse. Die Richtung der Amplitudenänderungen zu Beginn und Ende des Lärms verläuft in beiden Lärmphasen entgegengesetzt. Der Impulslärm erbringt dabei eine stärkere Tendenz in beiden Richtungen, als es das Breitbandrauschen vermag.



Fingerpulsamplitude
bei dreimaliger Neufestsetzung des 100-%-Wertes
in Versuchen mit und ohne Lärm und Kapsel-Gehörschützer

Bild 4

Bemerkenswert ist die Tatsache, daß die Rückkehr zu höheren Amplituden noch über das Maß der Amplitudenverringerungen bei den beiden anderen Versuchsserien (b und c) hinausgeht.



Verlauf der Fingerpulsamplitude in Versuchen mit und ohne Lärm und Kapsel-Gehörschützer

Bild 5

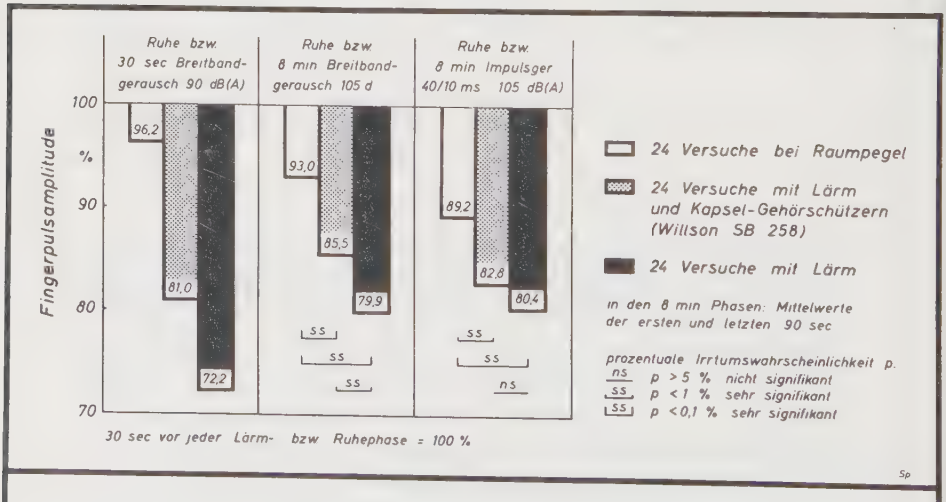
Die obige Zeichnung zeigt die Fingerpulsamplituden im Verlauf. Dabei wurde eine halbminütige Bezugsphase unmittelbar vor dem Schallreiz 90 dB(A) gleich 100 % gesetzt. Wie von anderen Autoren allgemein bekannt ist, fallen die Ruheamplituden kontinuierlich ab. Alle drei Kurven weisen ein gemeinsames Merkmal auf: Zu Beginn des Geräusches von 105 dB(A) und am Ende der Lärmphase lassen sich Fingerpulsamplitudenverkleinerungen erkennen.

Es stellt sich die Frage, inwieweit der Impulslärm die vegetative Reaktion anders beeinflußt als das Breitbandrauschen. Weil beide Lärme in unterschiedliche Zeitphasen fallen und darum die allein schon zeitbedingte

Fingerpulsamplitudenverringerung gegen Ende der Versuchszeit das Bild verfälschen würde, ist ein Vergleich am ehesten in Abbildung 4 möglich, da hier jedem Lärm eine Bezugsphase vorgeschaltet wurde. Laut Tabelle 6 sehen sich die vegetativen Reaktionen beider Versuchsgeräusche recht ähnlich; mit Ausnahme signifikanter Differenzen, was die Lärmbeginne der b-Serie und "Lärmenden" der c-Serien angeht (unterstrichene Werte).

Tabelle 6 p-Werte bei Gegenüberstellung des Breitbandrauschens und des Impulsgeräusches. Dauer des Lärmanfanges (LA) und -endes (LE) jeweils 1,5 Minuten.

		LA : LA	LE : LE
a (ohne Gehörsch.)	BB : IG	0,73	-0,88
b (mit Gehörsch.)	BB : IG	<u>2,31</u>	-0,45
c (Ruheversuch)	BB : IG	0,42	<u>2,04</u>



Mittlere Fingerpulsamplitude
in Versuchen mit und ohne Lärm und Kapsel-Gehörschützer

Bild 6

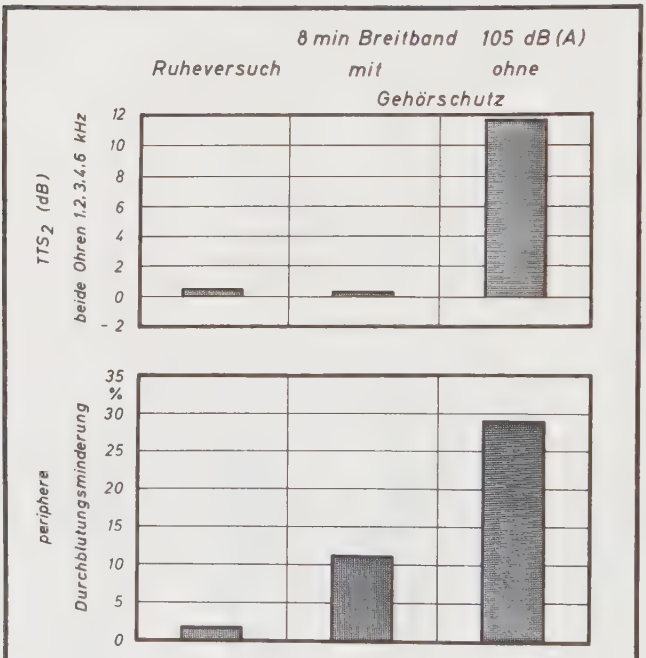
Man sieht in Abb. 6 bei den Versuchen ohne Gehörschutz so gut wie keinen Unterschied zwischen beiden Geräuschen. Bei Impulsgeräusch mit Gehörschutz ist die vegetative Reaktion ein wenig stärker als beim Breitbandgeräusch; vielleicht ein Indiz, daß der Gehörschutz den Impulslärm nicht so gut abdämmt, obschon ein statistisch signifikanter Unterschied ($t=1{,}26$) nicht vorliegt. Unter Ruhebedingungen ist die Fingerpulsamplitude in der zweiten Meßzeit erwartungsgemäß gesunken, liegt aber immer noch signifikant über den beiden anderen Amplituden.

In Abb. 4 gibt es noch eine Vielzahl von Überschneidungen der Amplitudenkurven von Lärmanfang nach -ende hin. Diese entfallen in Abb. 6. Das Bild 6 ist leichter verständlich und anschaulicher, die Versuchspersonen reagieren in den Serien ohne Gehörschutz am stärksten, schwächer in der Gehörschutzreihe und am schwächsten in den Ruheversuchen.

Die folgende Tabelle 7 veranschaulicht die Abstufungen der Fingerpulsamplitudenreaktion auf die drei Lärmarten. Eingetragen sind die prozentualen Amplitudenreduktionen, wie sie eine halbe Minute nach Lärmbeginn auftreten. Die zunehmende vegetative Reaktion bei Erhöhung der Lautstärke oder Übergang auf Impulslärm wird ebenso deutlich wie die Wirksamkeit der Gehörschützer.

Tabelle 7 Fingerpulsamplituden-Reduktionen $^1/_2$ Minute nach Lärmbeginn.

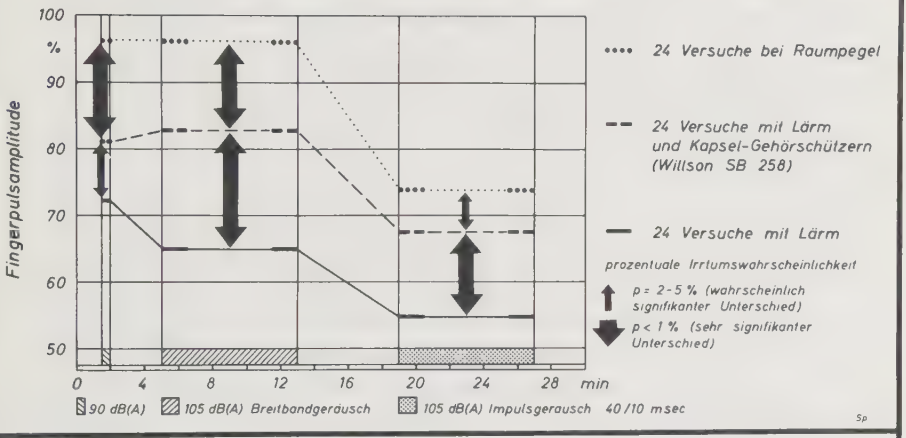
	Ohne Gehörsch.	Mit Gehörsch.	Ruheversuch
90 dB(A)(BB)	-27,8	- 19,0	- 3,8
105 dB(A)(BB)	-29,1	- 22,4	+ 3,4
105 dB(A)(IG)	-32,4	- 23,9	- 1,2



Wirkung persönlicher Gehörschutzmittel auf zeitweilige Hörschwellenabwanderung und periphere Durchblutung

Bild 7

Die Abb. 7 soll auf die Wirkung von persönlichen Gehörschützern aufmerksam machen. (Die Zahlenwerte stehen in Tab. 5.) Bei Anwendung von Kapselgehörschützern tritt kein Hörverlust auf; die Vasokonstriktion ist gegenüber einer Schallexposition mit ungeschützten Ohren um 17,5 % erniedrigt.



Mittlere Fingerpulsamplitude
in Versuchen mit und ohne Lärm und Kapsel-Gehörschützer

Bild 8

Mit der Abb. 8 wird der sehr signifikante Unterschied der vegetativen Reaktion mit und ohne Kapselgehörschützer deutlich. Bemerkenswert ist auch, daß selbst bei Tragen eines Gehörschutzes eine relevante Fingerpulsamplitudenreduktion gegenüber dem Ruheversuch registriert werden kann.

7. Diskussion

So klar sich die Hörschwellenverschiebungen der a-Serie (ohne Gehörschutz) von denen der b-Serie (mit Gehörschutz) abheben, so kompliziert gestaltet sich die Beurteilung der Hörschwellenabwanderungen (TTS_{BB} und TTS_{IG}) nach den beiden dargebotenen Lärmarten.

Impulslärm wird allgemein anders bewertet als Breitbandrauschen gleicher Intensität. v.LÜPKE (1968) macht den Versuch, einen "äquivalenten Dauerschallpegel" zu finden, der der Teil-Einwirkdauer von Impulsgeräuschen Rechnung trägt, weil verschiedene Tastabstände unterschiedliche Hörschwellenabweichung hervorrufen. Seinen Ausführungen gemäß ist "das Geräusch noch eine gewisse Zeit nach seinem Auftreten physiologisch wirksam", weshalb die Internationale Standardisierungsorganisation (ISO) pauschal einen Impulszuschlag von 5 dB(A) angeregt habe. Auch JANSEN (1972) sucht einen Weg zur Beurteilung von Impulsgeräuschen, indem er ein Impuls - Bewertungs - Maß (ImBM) entwickelt. Ausdrücklich macht er auf die Notwendigkeit aufmerksam, Impulslärm negativer zu bewerten als Breitbandrauschen.

Beim Vergleich der Hörschwellen nach beiden Geräuschen weist sich die TTS_{IG} um 4 dB(A) höher aus (Serie a, 4000 und 6000 Hz) als die TTS_{BB}. Es ist nicht mit letzter Sicherheit festzustellen, ob hier eine Summation beider Geräusche vorliegt oder der Impulslärm allein für die weitere Hörschwellenzunahme verantwortlich ist. Gemäß Untersuchungen von WARD (1960) ist nach dem Lärm mit einer Hörschwellenverbesserung von etwa 3 - 5 dB(A) bis zum Beginn des Impulslärms zu rechnen. Man darf daher die echte, durch das Impulsgeräusch verursachte Hörverschlechterung mit 7 bis 9 dB(A) angeben. Trotzdem bleibt die Frage offen, ob zwei Breitbandgeräusche von 2 mal 8 Minuten dieselbe Hörschwellenverschiebung verursacht hätten, obschon LEHNARDT (1965), andere Autoren zitierend, auf die größere Gehörschädlichkeit von Impulsgeräuschen gegenüber Breitbandgeräuschen aufmerksam macht.

Demzufolge kann zwar nicht bewiesen werden, daß die Differenz von TTS_{IG} und TTS_{BB} dem Impulscharakter des zweiten Lärms zuzurechnen ist, aber auf Grund der Erfahrungen anderer Autoren neigen wir zu dieser Aussage.

In der vorliegenden Untersuchung ging es vor allem um die physiologisch-otologische Wirkung von Gehörschutzkapseln. Es wurde bereits erwähnt, daß nach Ende der Versuche die Hörschwellen in der b-Serie (mit Gehörschutz) sogar noch tiefer liegen als in der c-Serie (Ruheversuch).

Eine Erklärung für das schlechtere Hören bei Ende des Ruheversuchs mag vielleicht darin zu suchen sein, daß die Probanden in Folge ihres langen Verharrens in Inaktivität ermüdeten. Ein Teil von ihnen gab Schlafneigung an. Selbstverständlich litt dadurch auch die Aufmerksamkeit beim Audiometrieren.

In den Versuchen mit Gehörschutz kann als Ursache besseren Hörens entweder normale Aufmerksamkeit oder aber, was wahrscheinlicher ist, eine erhöhte Wachsamkeit in Frage kommen.

Eine bloße Ermüdung mit Unaufmerksamkeit bei der Hörschwellenmessung im Ruheversuch und im Versuch mit Gehörschützern ist nicht die einzige Erklärungsmöglichkeit für die bessere TTS in der b-Serie. In den Ruheversuchen könnte auch eine nicht-lärmbedingte vegetative Regulation im Zuge einer Kreislaufumstellung, verursacht durch das Unbequemwerden der Körperlage, für die TTS eine Rolle gespielt haben. Diese Begründung geben LEHMANN u. MEYER-DELIUS (1957) zwar nicht für anwachsende TTS, aber doch für anwachsenden peripheren Gefäßwiderstand an. Da einerseits steigender peripherer Widerstand resp. kleiner werdende Fingerpulsamplitude und andererseits anwachsende Hörschwelle als Ausdruck erhöhten Sympathicotonus' konkordante Größen darstellen, darf es möglich sein, den Anstieg der TTS mit der "mit der Zeit eintretenden Kreislaufumstellung" zu erklären.

In der Literatur ist die Verknüpfung von Hörschwelle und vegetativer Reaktionslage bisher leider nur beschrieben worden, wenn TTS und vegetative Reaktion durch einen äußeren Einfluß (nämlich Lärm) gleichsinnig verändert wurden. Selten sind jedoch Angaben darüber zu finden, ob schon in Ruhe ein Zusammenhang zwischen Hörschwelle und vegetativem Nervensystem besteht. Hier ist die Arbeit von NEUBERGER u. SCHMID (1962) über die Zirkadianrhythmik von Hörschwelle und Sympathicotonus zu erwähnen. Die Verfasser vertreten die Ansicht, daß die Hörschwelle im Tagesrhythmus schwankt. WARD (1964) bestreitet diese Aussagen und spricht von einer längerfristigen Rhythmik. Aber auch bei NEUBERGER u. SCHMID fehlt die exakte Angabe, ob im Tagesverlauf beim Sympathicotonus-Gipfel die Hörschwelle das Maximum und beim Parasympathicotonus-Gipfel das Minimum erreicht.

Die Betrachtung der Verläufe der Fingerpulsamplitude zeigt, daß auch während der Lärmphasen nachlassende Verkleinerungen der Fingerpulsamplitude zu sehen sind; bei den Leerversuchen sind zunehmende Verkleinerungen in der Zeit zu beobachten.

Auf gar keinen Fall darf man, wozu man bei Betrachtung des Bildes 4 geneigt sein könnte, die gegen Lärmende sich abzeichnende Erweiterung der Endstrombahn als Gewöhnung oder Renormalisierung der Amplitudenwerte auffassen, nur weil sie wieder in Richtung der Anfangs-Ruhewerte streben. Es ist denkbar, daß durch den andauernden Schallreiz eine zunehmende Aktivation und Ergotropisierung des Vegetativums erfolgt, die sich in Form einer gegensinnig verlaufenden Fingerpulsamplitudenreaktion zeigt. Grundlegende Untersuchungen zu diesem Fragenkreis stehen noch aus.

Korrelationen zwischen Hörschwelle und Fingerpulsamplitude ergaben bereits in der a-Serie (ohne Gehörschutz) keinen Zusammenhang, wie Tabelle 9 darstellt. Der Korrelationskoeffizient r_{24} (für die Zahl n=24 Personen) bewegt

Tabelle 9 Korrelationen zwischen TTS und FPA in der Reihe ohne Gehörschutz.
r_{24}= Korrelationskoeffizient für die Zahl n=24

		$1^1/_2$min nach Lärmende	$1^1/_2$min vor Lärmende
BB 4000 Hz	r_{24}=	0,085	0,018
BB 6000 Hz		0,076	-0,067
IG 4000 Hz		0,072	0,259
IG 6000 Hz		0,107	-0,026

sich zwischen -0,067 und +0,259. Die Werte zeigen, daß keine hohe Korrelation vorliegt und der Zusammenhang nicht gesichert werden kann. Zu diesem Ergebnis trug wesentlich die ausgesprochen niedrige Hörschwellenverschiebung in der b - Reihe (mit Gehörsch.) bei. Es kann in dieser Versuchsreihe noch nicht einmal die von JANSEN (1970/1) für Breitbandgeräusche genannte Beziehung zwischen steigender Hörschwelle und verminderter Amplitudenreaktion nachgewiesen werden. Im Einklang mit JANSENs (1972) Untersuchungen über entsprechende Korrelationen für Impulsgeräusche muß in vorliegender Arbeit eine umgekehrte Beziehung zwischen Hörschwelle und Amplitudenreaktion verneint werden.

Wenn man von Amplitudenvergrößerung spricht, ist es notwendig, zwischen initialer, sodann persistierender Vergrößerung und allmählich sich ausbildender Vergrößerung nach anfänglicher Verkleinerung zu unterscheiden. Letzteres ist der Regelfall. Erstere Form kommt seltener vor. Sie ist unabhängig von der Lärmart und eine individuell-spezifische Reaktionsart und darum für die Beurteilung von Lärmen statistisch unerheblich. Allgemein wird diese Reaktionsform mit dem Ausgangswert-Gesetz von WILDER (1931) erklärt. Da auch in den vorliegenden Versuchsreihen a, b und c bei denselben Probanden die Lärmreaktionen stets uneinheitlich, aber immer den unterschiedlichen Ausgangswerten entsprechend, ausfielen, kann die Ausgangswert-Theorie bestätigt werden.

Um Aufklärung über die Ursache der paradoxen Reaktion zu erzielen, wurde folgendes unternommen: Es wurden aus den Probanden zwei Kollektive zu je acht Leuten ausgewählt. Die eine Gruppe setzte sich aus den in beiden Lärmen am schwächsten, die andere aus den am stärksten reagierenden Personen zusammen. Die Tabelle 10 zeigt die Mittelwerte aus den ersten und letzten $1^1/_2$ Lärmminuten.

Tabelle 10 Amplitudenmittelwerte der 8 am stärksten und schwächsten reagierenden Versuchspersonen als Differenz vom 100% - Wert.

	Ohne Gehörschutz		Mit Gehörschutz	
	BB	IG	BB	IG
Stärkste Reaktion	-38,4	-49,7	-20,0	-20,5
Schwächste Reaktion	- 6,4	+ 9,8	+ 1,8	-15,4
Mittlere Reaktion	-22,4	-19,9	- 9,1	-18,0

Die Reaktionsbreite wird bei den Probanden deutlich, wenn man die Zahlen an den mittleren Reaktionswerten mißt, die in etwa dem aus der Abb. 6 ersichtlichen Gesamtmittel entsprechen. Die Wirkung auf das vegetative Nervensystem ist bei Breitband- und Impulsgeräusch in der a - Serie keinesfalls gleichartig zu bewerten. JANSEN (1972) stellt auch fest, daß bei Impulsen wahrscheinlich eine anders geartete Lärmverarbeitung erfolgt. Man sieht, daß eine Personengruppe, die noch auf den Breitbandlärm mit leichter Fingerpulsamplitudenverminderung reagiert, hier beim Impulslärm eine paradoxe Reaktion von +9,8 % zeigt.

Es stellt sich hier die Frage, ob die Impulslärmverarbeitung allgemein anders ist, wie JANSEN (1972) es aussagt, oder nur immer bei der als Sympathicotoniker anzusprechenden Personenauswahl. Dazu müßte geklärt werden, ob die zusätzliche Amplitudenabnahme der Parasympathicotoniker (von -38,4 auf -49,7 %) reizadäquat ist oder nicht. Die Entscheidung darüber ist hier nicht möglich.

Man muß zur Kenntnis nehmen, daß bei den Parasympa-

thicotonikern unter Breitbandlärm noch kein Minimum der Fingerpulsamplitude erreicht war. Dieselben Versuchspersonen reagieren unter Impulsen mit einer weiteren Reduzierung. Wo und wann das Minimum erreicht wird, kann nicht gesagt werden. Möglicherweise ist es unter Impulslärm schon eingetreten. Entsprechend den Ergebnissen scheint es jedoch unwahrscheinlich zu sein, daß die Parasympathicotoniker auf Impulslärm mit Amplitudenvergrößerung oder gar paradoxer Reaktion antworten. Es soll damit aber nicht gesagt werden, daß das vegetative Nervensystem von Parasympathicotonikern als Ganzes bei Impulslärm grundsätzlich gleichartig wie bei Breitbandlärm reagiert. Denn um dies zu beweisen, müßten auch andere Parameter hinzugenommen werden, z.B. der diastolische Blutdruck, der im Rahmen dieser Untersuchung jedoch nicht bestimmt wurde. Somit sind Zweifel an der Richtigkeit der Theorie von der g r u n d s ä t z l i c h e n Andersartigkeit der Impulslärmverarbeitung wach geworden, wenn auch eine Widerlegung der Theorie hier nicht möglich ist.

Den Anstoß zu diesen Erörterungen lieferte die Tabelle 10, der eine Aufteilung der Versuchspersonen in zwei Extremgruppen mit je acht Probanden zu Grunde liegt. Es wurden dafür die 8 am schwächsten und 8 am stärksten in beiden Lärmen reagierenden Personen herausgesucht und als "Sympathico-" und "Parasympathicotoniker" bezeichnet. Um eine etwas höhere Sicherheit dabei zu erzielen, welche Personen nun wirklich ergo- und welche trophotrop reagieren, wurden für die Anhangstabelle 14 die Probanden nach dem Kriterium Herzschlagfrequenz ausgewählt. Die Tabelle 10 und die Anhangstabelle 14 zeigen große Ähnlichkeit, so daß die erfolgte Einteilung in Para- und Sympathicotoniker als nicht ganz unbegründet gelten kann.

Immer bleibt zu berücksichtigen, daß mit dieser Einteilung keineswegs eine Festlegung darüber getroffen wurde, welcher Person nun für alle Zeit eine ergo- resp. trophotrope Reaktionslage zukommt. Nachprüfungen haben bei denselben Personen an verschiedenen Tagen unterschiedliche

vegetative Ausgangslagen erbracht. Sie allein sind ja für Größe und Richtung der Vasokonstriktion bzw. -dilatation laut LEHMANN u. TAMM (1956) ausschlaggebend.

Von nicht geringer Bedeutung ist die Beantwortung der Frage, welche vegetativen Reaktionen trotz Tragens von Gehörschützern noch bei einem breitbandigen Umgebungslärm von 105 dB(A) auftreten. Geht man bei den Gehörschützern von einem Dämmwert von 35 - 40 dB(A) (v.LÜPKE, 1964) aus, liegt der Einwirkpegel des Geräusches bei 65 - 70 dB(A). JANSEN (1970/2) gibt hierfür "mögliche vegetative Reaktion" an. Nach LEHMANN u. TAMM (1956) liegt die Lärmintensität zwischen "relativem" und "absolutem" Lärm, wobei relativer Lärm eine psychisch und absoluter Lärm eine vorwiegend physiologisch bedingte vegetative Reaktion erzeugt.

Eine einfache Differenzbildung - 105 dB(A) Umgebungslärm minus 40 dB(A) Gehörschützerdämmung gleich 65 dB(A) Effektivlärm - ist durchaus zulässig. Einwände der Art, daß bei dieser Rechnung der durch Knochenleitung sich ausbreitende Schall nicht berücksichtigt wird, sind nicht stichhaltig. Zwar ist es richtig, daß der Kapselgehörschützer lediglich die Luftleitung behindert und der ossale Weg frei passierbar bleibt; jedoch wirkt sich die Knochenleitung erst bei extremen Lärmintensitäten aus. BÖRNER (1964/1) führt dazu aus: "Der durch ein Luftschallfeld verursachte Körperschall, der das Trommelfell über die Knochenleitung erreicht, liegt um etwa 65 dB(A) unter dem Pegel des durch den offenen Hörgang übertragenen Luftschalles." Dies auf unsere Versuchssituation angewandt, ergibt sich ein Einwirkpegel von 40 dB(A) (105 dB(A) - 65 dB(A) = 40 dB(A)). Der Wert 65 dB(A) verdient insofern eine Einschränkung, als er für 5 kHz gilt und gegen 2 kHz auf 50 dB(A) absinkt (BÖRNER, 1964/2).

Wenn feststeht, daß die Gehörschützer vom Typ Willson SB 258 das Ohr bei 105(A) Lärm vor jeder Schädigung bzw. Hörschwellenerhöhung bewahren und eine theoretische

Betrachtungsweise den noch verbleibenden Breitband-Einwirkpegel in den Bereich oben zitierter "möglicher vegetativer Reaktion" verweist, dann ist noch zu klären, ob die Gehörschützer für Breitband- und Impulsgeräusche gleiche Wirksamkeit besitzen.

Für die schlechtere Impulsdämmung spricht die innerhalb der ersten $1^1/_2$ Lärmminuten mangelnde Rückkehr der Fingerpulsamplituden zu höheren Werten. Laut Tabelle 5 stellt sich von Minute 0,5 bis Minute 1,5 eine Vasodilatation oder Rückregulation von nur 5,6 % gegenüber 11 % bei Breitbandlärm ein. Bei beiden Geräuschen findet sich in der ersten halben Lärmminute eine etwa gleich hohe Initialreaktion (BB -22,4 %; IG -23,9 %). Jedoch erfolgt bei den Probanden unter Breitbandlärm eine schnellere Rückregulation als unter Impulslärm. So läßt eine fehlende Initialreaktion, d.h. eine vegetative Antwort, die während der gesamten Reizdauer gleich bleibt, auf eine größere Lärmwirksamkeit schließen, oder darauf, daß die Erholung dazwischen nicht vollständig ist.

Der fast unerheblichen Vasokonstriktion bei Breitbandanfang (Abb. 4) folgt gegen Lärmende, gleichsinnig zur Ruheserie, eine weitere Gefäßverengung. Da hier die vegetative Reaktion ähnlich der unter Ruhebedingungen ist, kann der Gehörschützer unter Wirkung von Breitbandlärm auch als guter Schutz zur Verhütung extraauraler Reaktionen angesehen werden.

Wenn von der Ähnlichkeit der Amplitudenverläufe von b - und c - Serien (mit Gehörsch. und Ruheversuch) unter Breitbandlärmeinwirkung auf die Güte der Gehörschützer geschlossen wird, dann kann umgekehrt der ähnliche Kurvenverlauf von a - und b - Serien bei Impulsgeräusch auf eine geringere Schutzfunktion deuten. Woher dies rührt, ist unklar. Grundsätzlich sind die in unseren Versuchen angewandten Impulsgeräusche nicht lauter als Breitbandgeräusche. Bei ihrer Messung werden bereits die Spitzenpegel erfaßt. Keinesfalls wird ein integrierter Gesamtschallpegel gemes-

sen, der ja keinen Rückschluß auf Spitzenwerte zuließe. Warum also läßt die Vasokonstriktion in der b - Reihe nur so zögernd nach? Die Anschauung von der Andersartigkeit der Impulsverarbeitung findet hier eine Stütze. Die bei Lärmende sichtbare leichte Rückregulation ist mit $t = +0{,}66$ zu geringfügig und entzieht sich damit einer Deutung. Mit diesem Ergebnis läßt sich die Theorie einer andersgearteten Impulsverarbeitung zwar nicht widerlegen, aber auch nicht beweisen.

Für die, wie aus Abb. 6 hervorgeht, im ganzen etwas stärkere Vasokonstriktion bei den Gehörschutzversuchen mit Impulsgeräusch gegenüber denen mit Breitbandgeräusch ist möglicherweise die zeitabhängige Amplitudenverminderung verantwortlich, wie sie normalerweise nach längerer Ruhezeit auftritt. Jedenfalls sehen die Kurven der b- und c - Serien so aus, als seien sie vom Breitbandgeräusch zum Impulsgeräusch hin lediglich parallel verschoben. Nach dieser Aussage der Abb. 6 wäre die weiter oben vertretene Ansicht einer durch Kapselgehörschützer verminderten Impulsgeräuschdämmung hinfällig. Dennoch sollte daran festgehalten werden, daß die Gehörschützer für Impulse durchlässiger sind, weil die isolierte Amplitudenreaktion bei Lärmanfang und -ende (Abb. 4) aussagekräftiger ist. Im Bild 4 laufen die Verbindungslinien zwischen Lärmanfang und -ende für die Reihen b und c (mit Gehörsch. und in Ruhe) nämlich nicht mehr parallel, sondern über Kreuz.

Die Tatsache, daß in den gehörschutzlosen und den Ruheserien zwischen Lärmanfang und -ende sehr signifikante Unterschiede vorhanden sind, während sie für die b - Reihe "wahrscheinlich signifikant" (Breitbandlärm) bzw. "nicht signifikant" (Impulsgeräusch) sind, drückt allem Anschein nach eine mittelmäßige Stimulierung des vegetativen Nervensystems aus, die gewährleistet, daß die Gefäße eine mittlere Tonuslage einhalten können.

Wenn LEHMANN und MEYER-DELIUS (1957) für in ihren Ruheversuchen festgestellte zeitabhängige Vasokonstriktio-

nen anführen, daß die Ursache dafür eine Belastung sei, die sich aus längerer Beibehaltung einer auch anfangs sehr bequemen Körperlage ergebe, dann kann die in der b - Serie unter Impulsgeräusch erfolgte leichte Vasodilatation im Sinne einer Entlastung erklärt werden. Und wenn Ruhe zur Belastung werden kann, ist durchaus denkbar, daß eine leichte Stimulierung des Vegetativums durch Lärm eine gewisse Entlastung bringt, indem die Gefäße einen mittleren Tonus einnehmen, der zwischen den Extremen (Ruheversuch und Geräuschversuch ohne Gehörschutz) liegt. In der Berufswelt kommt solche körperliche Ruhe so gut wie gar nicht vor. Wenn die Ruheversuchsreihe mit dem Ziel, eine vernünftige Vergleichsbasis zu schaffen, durchgeführt wurde, dann müssen die Fehler genannt und gewogen werden, die die Lärmlaborbedingungen in Ruhe von den Voraussetzungen am Arbeitsplatz unterscheiden.

In diesem Zusammenhang erscheint es überhaupt interessant und wissenswert, einmal festzustellen, wie lange der Mensch sich in Ruhelage befinden muß, bis seine Fingerpulsamplitude ein Minimum erreicht hat und wo dieses liegt. Wie würde sich ein nach so langer Ruheperiode einsetzender Lärm besonders in seiner Initialphase auf die Fingerpulsamplitude auswirken? Diese Fragen können hier nicht beantwortet werden, weil die Dauer der Einzelversuche zu gering war. Bei weiteren Untersuchungen der vegetativen Reaktion in Ruhe sollten diese Probleme berücksichtigt werden.

8. Zusammenfassung

In 72 Versuchen, in denen 24 Personen nacheinander einmal mit ungeschützten Ohren und einmal mit Kapselgehörschützern, einem weißen Rauschen und einem Impulslärm - beide 105 dB(A) - ausgesetzt wurden, wurde der Frage nachgegangen, wieweit Kapselgehörschützer geeignet sind, nicht nur die Hörschwellenverschiebung zu verhüten, sondern auch die vegetative Reaktion in Grenzen zu halten.

Als die am meisten erprobte und zuverlässigste Meßgröße der extraauralen Lärmwirkung gilt die Fingerpulsamplitude, wie sie von JANSEN u. THUTEWOHL (1968) beschrieben worden ist.

Eine wesentliche Hörschwellenverschiebung gegenüber den Ruheversuchen ergab sich in der Versuchsreihe mit Kapselgehörschützern nicht, während sie bei ungeschützten Ohren signifikant verändert war. Ob die Gehörschützer für Impulslärm durchlässiger als für Breitbandrauschen waren, konnte nicht geklärt werden.

Gleichsinnige Beziehungen zwischen Fingerpulsamplitudenänderung und Hörschwellenabwanderung ergaben sich nicht.

An Hand der vegetativen Reaktion konnte nicht mit Sicherheit entschieden werden, ob Impulslärm anders zu bewerten ist als Breitbandrauschen.

9. Tabellen

Tabelle 1

Hörschwellenabwanderung für die Prüffrequenz 4000 Hz in der Versuchsreihe a (ohne Gehörschutz) ausgedrückt in Differenzbeträgen.

Vp.-Nr.	TTS_1-AAG	TTS_2-AAG	TTS_2-TTS_1
1.	27,5	20	- 7,5
2.	17,5	22,5	5
3.	17,5	27,5	10
4.	20	20	0
5.	7,5	5	- 2,5
6.	25	40	15
7.	32,5	40	7,5
8.	12,5	17,5	5
9.	10	15	5
10.	25	30	5
11.	27,5	35	7,5
12.	30	25	- 5
13.	15	12,5	- 2,5
14.	17,5	25	7,5
15.	15	15	0
16.	2,5	10	7,5
17.	15	17,5	2,5
18.	10	15	5
19.	7,5	7,5	0
20.	12,5	10	- 2,5
21.	30	32,5	2,5
22.	10	10	0
23.	5	10	5
24.	22,5	17,5	- 5

Tabelle 2

Hörschwellenabwanderung für 4000 Hz in der Versuchsreihe b (mit Gehörschutz) ausgedrückt in Differenzbeträgen.

Vp.-Nr.	TTS_1-AAG	TTS_2-AAG	TTS_2-TTS_1
1.	15	7,5	- 7,5
2.	0	0	0
3.	5	7,5	2,5
4.	- 5	- 2,5	2,5
5.	- 2,5	- 5	- 2,5
6.	10	7,5	- 2,5
7.	- 7,5	5	12,5
8.	5	5	0
9.	2,5	- 2,5	- 5
10.	- 2,5	0	2,5
11.	- 5	0	5
12.	2,5	5	2,5
13.	- 2.5	- 5	- 2,5
14.	- 5	- 2,5	2,5
15.	2,5	2,5	0
16.	- 7,5	- 7,5	0
17.	2,5	5	2,5
18.	2,5	5	2,5
19.	0	5	5
20.	2,5	0	- 2,5
21.	10	5	- 5
22.	- 5	- 7,5	- 2,5
23.	0	5	5
24.	- 2,5	2,5	5

Tabelle 3

Hörschwellenabwanderung für 6000 Hz in der Versuchsreihe a (ohne Gehörschutz) ausgedrückt in Differenzen.

Vp.	Prüffrequenz 6000 Hz	TTS_1-AAG	TTS_2-AAG	TTS_2-TTS_1
1.		25	17,5	- 7,5
2.		20	42,5	22,5
3.		7,5	15	7,5
4.		20	27,5	7,5
5.		12,5	12,5	0
6.		2,5	25	22,5
7.		47,5	50	2,5
8.		22,5	32,5	10
9.		5	10	5
10.		20	25	5
11.		37,5	17,5	- 20
12.		20	25	5
13.		20	20	0
14.		15	17,5	2,5
15.		20	22,5	2,5
16.		12,5	22,5	10
17.		30	35	5
18.		0	10	10
19.		7,5	15	7,5
20.		15	32,5	17,5
21.		25	35	10
22.		32,5	30	- 2,5
23.		27,5	35	7,5
24.		30	27,5	- 2,5

Tabelle 4

Hörschwellenabweichung für 6000 Hz in der Versuchsreihe b (mit Gehörschutz) ausgedrückt in Differenzen.

Vp.	Prüffrequenz 6000 Hz	TTS_1-AAG	TTS_2-AAG	TTS_2-TTS_1
1.		- 7,5	- 2,5	5
2.		- 2,5	- 5	- 2,5
3.		- 2,5	- 2,5	0
4.		- 10	- 7,5	2,5
5.		- 2,5	7,5	10
6.		- 5	- 20	- 25
7.		10	10	0
8.		7,5	5	2,5
9.		7,5	5	- 2,5
10.		5	2,5	- 2,5
11.		0	2,5	2,5
12.		- 12,5	- 10	2,5
13.		5	10	5
14.		0	- 2,5	- 2,5
15.		2,5	7,5	5
16.		5	- 2,5	- 7,5
17.		0	5	5
18.		12,5	7,5	- 5
19.		- 10	7,5	17,5
20.		5	0	- 5
21.		- 5	- 2,5	2,5
22.		- 12,5	- 17,5	- 5
23.		0	0	0
24.		5	7,5	2,5

Tabelle 5

AM der Fingerpulsamplitude in den ersten $1^1/_2$ Minuten.

	Ohne Gehörschutz		Mit Gehörschutz		Ruheversuch	
Vp.	BB	IG	BB	IG	"BB"	"IG"
1.	74,3	88,7	90,4	115,8	101,0	119,4
2.	62,7	75,1	105,0	100,4	103,3	96,1
3.	49,9	32,9	93,6	92,0	92,0	96,4
4.	78,3	94,2	98,3	52,7	67,8	54,4
5.	83,2	34,9	81,2	152,7	86,0	105,2
6.	99,6	74,3	153,3	80,3	91,0	35,9
7.	70,9	49,1	93,6	81,4	90,3	95,3
8.	85,4	61,7	85,1	53,3	98,2	88,0
9.	53,8	27,0	63,0	74,8	80,0	89,7
10.	77,9	57,7	103,7	85,6	85,9	102,9
11.	67,2	102,6	87,6	49,6	93,6	101,4
12.	47,9	93,8	82,7	73,1	104,2	95,1
13.	24,0	42,2	53,8	78,4	112,7	108,3
14.	79,8	59,9	117,6	83,1	158,9	52,9
15.	86,8	88,6	118,3	86,6	79,6	102,4
16.	41,6	73,2	26,4	49,8	107,8	101,7
17.	116,4	76,3	105,9	70,7	107,3	104,8
18.	100,9	119,9	97,1	101,8	92,3	107,2
19.	33,9	35,1	85,1	94,4	97,9	94,4
20.	81,3	82,9	43,4	60,9	102,2	110,8
21.	54,6	56,4	91,7	62,0	96,8	145,6
22.	58,4	62,6	86,2	91,0	103,3	104,3
23.	77,1	89,9	89,1	97,6	109,3	126,0
24.	99,3	80,3	75,3	67,2	98,3	96,4
	71,05	69,13	88,63	81,67	98,32	97,29

Tabelle 6

Arithmetisches Mittel der Fingerpulsamplituden in den letzten $1^1/_2$ Minuten vor Lärmende.

	Ohne Gehörschutz		Mit Gehörschutz		Ruheversuch	
Vp.	BB	IG	BB	IG	"BB"	"IG"
1.	65,2	94,3	81,1	132,6	78,3	117,7
2.	112,7	120,1	98,0	98,1	98,1	100,0
3.	57,4	71,2	76,2	54,2	47,6	48,0
4.	113,8	123,1	100,0	66,8	51,1	57,0
5.	117,7	17,9	22,6	43,6	53,3	69,7
6.	120,0	107,9	67,4	72,2	70,7	38,9
7.	84,1	45,7	87,1	51,8	62,3	52,3
8.	93,2	67,3	73,2	41,1	100,3	109,4
9.	97,1	74,2	78,0	78,3	107,2	82,9
10.	94,8	69,2	73,6	94,4	53,4	30,7
11.	71,2	150,2	107,1	49,7	87,6	57,6
12.	99,3	164,9	75,6	73,7	108,4	120,7
13.	63,8	68,2	67,4	72,7	100,4	70,8
14.	122,7	139,8	117,1	140,3	165,6	83,7
15.	97,3	173,8	134,1	111,8	79,0	70,4
16.	63,3	96,0	35,7	70,2	107,7	105,7
17.	115,4	96,1	120,2	141,1	63,6	94,3
18.	84,1	92,7	44,9	104,0	91,1	75,0
19.	61,0	42,7	96,6	100,9	102,7	100,9
20.	66,0	78,1	60,2	144,4	92,8	88,3
21.	62,0	79,3	112,7	53,8	94,9	150,6
22.	88,0	78,9	91,2	79,4	83,1	93,6
23.	87,7	78,7	82,6	85,0	105,6	41,4
24.	86,8	72,4	73,9	59,8	86,2	87,0
Σ_{24}	88,66	91,78	82,33	83,79	87,56	81,12

Tabelle 7

Absolutwerte der Hörschwellen als arithmetisches Mittel aus dem ganzen Hörspektrum (1000 - 8000 Hz).

	Ohne Gehörschutz			Mit Gehörschutz			Ruheversuch		
Vp.	RA	BBA	IGA	RA	BBA	IGA	RA	"BBA"	"IGA"
1.	5,8	25,8	18,8	14,6	14,8	14,2	3,3	9,2	6,3
2.	12,5	24,6	31,3	10,8	8,8	6,3	10,0	12,1	13,3
3.	15,8	28,8	27,9	9,2	11,3	13,3	11,7	11,3	12,5
4.	13,3	26,7	29,6	12,5	9,6	10,0	7,9	7,9	7,9
5.	5,4	7,5	7,1	3,3	2,9	4,6	5,8	6,7	7,5
6.	8,8	15,0	23,3	5,0	13,3	7,1	6,7	9,2	12,9
7.	11,3	37,1	40,4	12,1	15,4	17,9	7,1	8,3	12,1
8.	15,4	25,0	30,4	9,2	12,1	11,3	11,3	13,8	13,3
9.	7,5	16,3	20,4	9,2	10,8	7,9	6,7	8,8	8,8
10.	8,3	22,5	25,4	11,7	11,3	9,6	8,8	6,3	12,1
11.	7,9	28,3	20,4	8,8	6,7	6,7	7,5	9,2	6,7
12.	7,1	23,3	22,1	7,9	7,1	9,2	8,8	8,8	9,2
13.	11,3	25,4	22,5	8,3	9,2	9,2	10,4	7,9	9,6
14.	15,4	28,3	27,9	11,7	7,5	8,8	8,8	7,9	8,3
15.	13,8	22,9	23,8	10,8	12,5	13,3	9,2	8,8	7,9
16.	17,5	18,3	22,5	17,9	17,1	14,6	14,2	16,3	15,4
17.	4,6	16,3	20,4	2,1	3,3	7,5	- 0,8	0	0
18.	19,6	22,1	26,3	12,9	18,3	16,3	17,5	14,6	13,3
19.	11,7	17,5	19,6	8,8	5,4	10,4	7,1	8,3	7,1
20.	6,3	18,8	20,0	10,0	10,8	10,0	8,8	10,4	7,9
21.	8,8	24,6	27,1	6,7	6,7	6,3	3,3	3,3	3,3
22.	6,7	16,3	16,3	7,9	2,5	2,1	4,6	0,4	-0,8
23.	8,3	17,9	20,4	9,2	6,7	10,0	9,2	10,0	10,0
24.	7,1	23,3	22,5	5,4	7,1	10,4	5,4	7,5	8,3
Σ_{24}	10,4	22,2	23,6	9,4	9,6	9,9	8,0	8,6	8,8

Tabelle 8

Arithmetisches Mittel der zeitweiligen Hörschwellenverschiebung (TTS) im ganzen Hörspektrum (1000 - 8000 Hz).

	TTS Ohne Gehörschutz		Mit Gehörschutz		Im Ruheversuch	
Vp.	TTS nach BB	nach IG	nach BB	nach IG	nach"BB"	nach"IG"
1.	20,0	12,9	2,5	- 0,4	5,8	2,9
2.	12,1	18,8	- 2,1	- 4,6	2,1	3,3
3.	12,9	12,1	2,1	4,2	- 0,4	0,8
4.	13,3	16,3	- 2,9	- 2,5	0	0
5.	2,1	1,7	- 0,5	1,3	0,8	1,7
6.	6,3	14,6	6,7	2,1	2,5	6,3
7.	25,8	29,2	3,3	5,8	1,3	5,0
8.	9,6	15,0	2,9	2,1	2,5	2,1
9.	8,8	12,9	1,7	- 1,3	2,1	2,1
10.	14,2	17,1	- 0,4	- 2,1	- 2,5	3,3
11.	20,4	12,5	- 2,1	- 2,1	1,7	- 0,8
12.	16,3	15,0	- 0,8	1,3	0	0,4
13.	14,2	11,3	0,8	0,8	- 2,5	- 0,8
14.	12,9	12,5	- 4,2	- 2,9	- 0,8	- 0,4
15.	9,2	10,0	1,7	2,5	- 0,4	- 1,3
16.	0,8	5,0	- 0,8	- 3,3	2,1	1,3
17.	10,8	15,8	1,3	5,4	0,8	0,8
18.	2,5	6,7	5,4	3,3	- 2,9	- 4,2
19.	6,8	7,9	- 3,3	1,7	1,3	0
20.	12,5	13,8	0,8	0	1,7	- 0,8
21.	15,8	18,3	0	- 0,4	0	0
22.	9,6	9,6	- 5,4	- 5,8	- 4,2	- 5,4
23.	9,6	12,1	- 2,5	0,8	0,8	0,8
24.	16,3	15,4	1,7	5,0	2,1	2,9
Σ_{24}	11,8	13,2	0,2	0,5	0,6	0,8

Tabelle 9

Personendurchschnitt der zeitweiligen Hörschwellenverschiebung (TTS) für die Einzelfrequenzen.

	Ohne Gehörschutz TTS nach BB	nach IG	Mit Gehörschutz nach BB	nach IG	Ruheversuch nach"BB"	nach"IG"
1000 Hz	1,5	0,3	0,3	0,4	- 0,2	1,5
2000 Hz	2,4	3,2	0,3	- 0,4	1,3	2,8
3000 Hz	9,9	9,8	0,2	0,4	0,3	1,4
4000 Hz	17,3	20,0	0,6	1,5	0,3	0
6000 Hz	19,8	25,1	- 0,2	0,2	1,0	- 1,0
8000 Hz	19,8	20,6	0,2	0,6	0,7	0,4
Σ_6	11,8	13,2	0,2	0,5	0,6	0,8

Tabelle 10

Personendurchschnitt der absoluten Hörschwellen für die Einzelfrequenzen.

RA = Ruheaudiogramm BBA = Audiogramm nach BB
IGA = Audiogramm nach IG

	Ohne Gehörschutz RA	BBA	IGA	Mit Gehörschutz RA	BBA	IGA	Ruheversuch RA	"BBA"	"IGA"
1000 Hz	6,8	8,2	7,1	5,1	5,4	5,5	3,8	3,5	5,2
2000 Hz	7,3	9,7	10,5	5,7	6,0	5,3	3,7	4,9	6,5
3000 Hz	8,8	18,7	18,5	7,4	7,6	7,8	5,7	5,9	7,1
4000 Hz	10,1	27,4	30,1	9,4	10,0	10,8	8,4	8,8	8,4
6000 Hz	21,8	41,6	46,9	20,5	20,7	20,7	20,3	21,4	19,3
8000 Hz	7,8	27,6	28,4	8,3	8,5	8,9	6,4	7,1	6,8
Σ_6	10,4	22,2	23,6	9,4	9,7	9,9	8,0	8,6	8,8

Tabelle 11

Reihenfolge, in der die Versuchspersonen ihre Versuchsserien (a = ohne, b = mit Gehörschützer, c = Ruheversuch) hinter sich brachten, unter Angabe der Personennummern.

Als 1. Versuch			Als 2. Versuch			Als 3. Versuch		
Serie a	b	c	Serie a	b	c	Serie a	b	c
3.	1.	2.	1.	3.	4.	7.	2.	1.
4.		5.	2.	7.	6.		4.	3.
6.		7.	5.	9.	10.		5.	9.
9.		8.	8.	12.	11.		6.	12.
10.				15.	13.		8.	15.
11.				17.	14.		10.	17.
12.				18.	16.		11.	18.
13.				21.	19.		13.	21.
14.				22.	20.		14.	22.
15.				23.	24.		16.	23.
16.							19.	
17.							20.	
18.							24.	
19.								
20.								
21.								
22.								
23.								
24.								
$\sum_{Vp}$ 19	1	4	4	10	10	1	13	10

Tabelle 12

Altersstruktur und Geschlecht der Versuchspersonen.

Vp.	Männlich	Vp.	Männlich	Vp.	Weiblich
2.	20 Jahre	16.	25 Jahre	1.	17 Jahre
7.	27 "	17.	23 "	3.	25 "
9.	25 "	18.	32 "	4.	36 "
10.	24 "	19.	24 "	5.	32 "
11.	23 "	20.	25 "	6.	30 "
12.	24 "	22.	24 "	8.	27 "
13.	24 "	23.	34 "	14.	24 "
15.	24 "	24.	36 "	21.	24 "

Tabelle 13

Der Tabelle 10 liegen die Mittelwerte (Auswahl der bei beiden Lärmen am schwächsten und am stärksten reagierenden Personen) folgender Versuchspersonen zu Grunde:

Sympathicotoniker	Vp.:	4, 6, 11, 12, 14, 15, 17, 18
Parasympathicotoniker	Vp.:	3, 5, 7, 9, 10, 13, 19, 21

Tabelle 14

Mittlere Fingerpulsamplitudensenkung in Prozent der "Sympathicotoniker" (Vp.: 1, 6, 8, 11, 14, 15, 18, 24) und der "Parasympathicotoniker" (Vp.: 4, 5, 7, 9, 13, 16, 17, 23).
(Die Personenauswahl erfolgte nach Gesichtspunkten der Herzfrequenz (1,5 Minuten vor dem Breitbandgeräusch)).

FPA-Senkung in %	Ohne Gehörschutz		Mit Gehörschutz	
	BB	IG	BB	IG
Sympathicotoniker	-10,4	- 1,6	- 4,8	-15,7
Parasympathicoton.	-18,1	-32,1	-24,7	-20,8

10. Literatur

1 - 1931 WILDER, J.
"Das Ausgangswertgesetz" - ein unbeachtetes biologisches Gesetz; seine Deutung für Forschung und Praxis.
Klinische Wochenschriften 10. Jhrg. Nr. 41, 1889 - 1893 (Okt. 1931)

2 - 1955 TANNER, K.
Über Hörermüdung und akustisches Trauma und deren Beeinflussung durch vegetativ wirksame Pharmaka.
Acta Otol. 1955:1

3 - 1956 LEHMANN, G. u. TAMM J.
Über Veränderungen der Kreislaufdynamik des ruhenden Menschen unter Einwirkung von Geräuschen.
Int. Z. angew. Physiol. 16, 217 - 227 (1956)

4 - 1957 LEHMANN, G.
Der Kampf gegen Lärm.
Dtsch. Mediz. Wochenschr. 2. Jhrg. Nr. 14 (April 1957)

5 - 1957 LEHMANN, G. u. MEYER-DELIUS J.
Gefäßreaktionen der Körperperipherie bei Schalleinwirkungen.
Forschungsberichte des Wirtschafts- u. Verkehrsministeriums Nordrh.-Westf. Nr. 517
Westdeutscher Verlag Köln u. Opladen 1957

6 - 1958 WARD, W.D., GLORIG A. u. SKLAR D.L.
Dependence of Temporary Threshold Shift at 4 kc on Intensity and Time. (Die Abhängigkeit der Hörschwellenabwanderung bei 4 kHz von Lärmstärke und Zeit)
Journal of the Acoustical Society of America Vol. 30, No 10, 944 - 954 (Oct. 1958)

7 - 1959 WARD, W.D., GLORIG, A. u. SKLAR, D.L.
Relations between Recovery from Temporary Threshold Shift and Duration of Exposure. (Gehörerholung in Abhängigkeit von Lärmstärke und Lärmdauer)
The Journal of the Acoustical Society of America Vol. 31, No. 5, 600 - 602 (May 1959)

8 - 1960 WARD, W.D.
Recovery from High Values of Temporary Threshold Shift. (Gehörerholung nach hoher Hörschwellenabwanderung)
The Journal of the Acoustical Society of America Vol. 32, No. 4, 497 - 500 (April 1960)

9 - 1962 MATTHIAS, S. u. JANSEN, G.
Periphere Durchblutungsstörungen durch Lärm bei Kindern.
Int. Zeitschr. f. angewandte Physiologie einschl. Arbeitsphysiologie 19, 201 - 208 (1962)

10 - 1962 WARD, W.D.
Effect of Temporal Spacing on TTS from Impulses. (Der Einfluß der Pausenlänge von Impulsen auf die Hörschwellenverschiebung)
The Journal of the Acoustical Society of America Vol. 34, No. 9, 1230 - 1232 (Sept. 1962)

11 - 1962 NEUBERGER, F. u. SCHMID R.
Hörschwelle und Sympathicotonus, ihre zyklische Konkordanz und temporäre Koinzidenz im 24 - Stunden - Rhythmus.
Archiv Ohren-, Nasen- u. Kehlkopfheilkunde 179, 237 - 258 (1962)

12 - 1964/1 BÖRNER, H.
Über die Wirkung von Hörschutzgeräten und ihre Messung.
Hochfrequenztechnik u. Elektroakustik Leipzig 73, 63 - 73 (1964)

13 - 1964/2 BÖRNER, H.
Individueller Hörschutz.
Die Technik 19.Jhrg. Heft 5, 357 - 360 (1964)

14 - 1964 v.LÜPKE, A.
Gehörschützer II - Ergebnisse von Messungen und Trageversuchen.
Arbeitsschutz-Herausgeber: Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung, Verlag: W. Kohlhammer Stuttg. u. Köln, Sonderdruck aus Heft 12 (1964)

15 - 1964 WARD, W.D.
Diurnal Variability of Auditory Threshold.
Acta otolaryng (Stockholm) 58, 139 - 142 (1964)

16 - 1965 LEHNARDT, E.
Die Berufsschäden des Ohres.
Archiv Ohren-, Nasen- u. Kehlkopfheilkunde 185, 11 - 242 (1965)

17 - 1967 LAWRENCE, V., GONZALES a.HAWKINS
Some Physiological Factors in Noise-induced Hearing Loss. (Einige physiologische Größen bei lärminduziertem Hörverlust)
Industrial Hygiene Association Journal 28, 425 - 430 (Sept.-Oct. 1967)

18 - 1967 JANSEN, G.
Zur nervösen Belastung durch Lärm.
Beiheft zum Zentralblatt f. Arbeitsmedizin u. Arbeitsschutz, 9 (1967) Dr.-Dietrich-Steinkopff-Verlag

19 - 1968 JANSEN, G. u. THUTEWOHL, W.
Zur Bestimmung vegetativer Schallreaktionen.
Kampf dem Lärm 1, 13 - 16 (1968)

20 - 1968 KNÖPKE-SCHÖTTL, H.-M.
Die Wirkung von Impulsgeräuschen auf Gehör und vegetative Funktionen des Menschen.
Dissertation Essen 1968

21 - 1968 LEHNHARDT, E. u. BÜCKING J.
Lärmpausen - eine Möglichkeit zur Prophylaxe der Lärmschwerhörigkeit.
Int. Arch. Gewerbepath. Gewerbehyg. 25, 65 - 74 (1968)

22 - 1968 v.LÜPKE, A.
Der Zeiteinfluß bei der Geräuschbeurteilung.
Vortrag V. Internationaler Kongreß für Lärmbekämpfung, London (Mai 1968) Bundesinstitut für Arbeitsschutz, Koblenz

23 - 1968 ROBINSON, D.W.
The Relationship between Hearing Loss and Noise Exposure. (Die Beziehung zwischen Hörverlust u. Lärmeinwirkung)
Nat. Physic Lab., Aero Report Ac 32, (July 1968)

24 - 1970/1 JANSEN, G.
Relation between Temporary Threshold Shift (TTS) and Peripheral Circulatory Effects of Sound. (Beziehung zwischen Hörschwellenverschiebung u. peripherem Kreislauf bei Lärm)
Physiological Effects of Noise, Plenum Press, 67 - 74 (1970)

25 - 1970/2 JANSEN, G.
Psychosomatische Lärmwirkungen und Grenzwerte für die vegetative Belastung durch Schall.
Ztschr. Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Arbeitshygiene Okt. 1970

26 - 1971 v.LÜPKE, A.
Persönlicher Schallschutz.
Richtlinie VDI 2560, Bundesinstitut für Arbeitsschutz, Koblenz, Ausgabe 1971

27 - 1972 JANSEN, G.
Experimenteller Beitrag zur physiologischen Wirkung von Impulsgeräuschen.
ISL - Bericht 7/72 S. 101 - 123 (1972)

28 - 1975 LIES, A.
Beeinflussung von Kreislaufgrößen in Lärmsituationen unter gleichzeitiger Gabe eines Beta-Sympathicolytikums.
Dissertation Essen 1975

29 - 1975 SCHOLZ, M.
Pulsfrequenzmessungen an "Neurotikern" während körperlicher und geistiger Beanspruchung unter gleichzeitiger Gabe eines Beta-Sympathicolytikums.
Dissertation Essen 1975

L e b e n s l a u f

Georg Spätling, geboren am 29. 1. 1947 in Labbeck/Kreis Moers, als sechstes von neun Kindern der Eheleute Dr. med. Theodor Spätling und Elisabeth Spätling, geb. Schäfer.

1953 - 1957	Volksschule Sonsbeck/Ndrrh.
1957 - 1966	Gymnasium Geldern, 1966 Abitur
1966 - 1969	Studium der Medizin an der Universität zu Köln
1969	Ärztliche Vorprüfung an der Universität zu Köln
1969 - 1972	Studium der Medizin am Klinikum Essen/Universität Bochum
1972	Ärztliche Prüfung am Klinikum Essen
Februar 1973 - Dezember 1973	Medizinalassistent am Institut für Arbeitsmedizin des Klinikums Essen
Dezember 1973 - April 1974	Medizinalassistent der Medizinischen Klinik am Klinikum Essen
Mai 1974 - Dezember 1974	Chirurgische Abteilung am St.-Agnes-Hospital Bocholt
November 1974	Approbation
Januar 1975 - März 1976	Wehrpflicht als Truppenarzt in Coesfeld und Wesel
Mai 1976 - Dezember 1978	Innere Abteilung am St.-Vinzenz-Hospital in Rhede
1979	Gynäkologische Abteilung am St.-Antonius-Hospital Kleve
Seit 1. 1. 1980	niedergelassen als praktischer Arzt in Sonsbeck/Ndrrh.